This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Leitfaden zum Berechnen und Entwerfen

von

Lüftungs- und Heizungs-Anlagen

Von

H. Rietschel

Erster Theil

Digitized by Google

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF CALIFORNIA.

Class

Digitized by Google

Leitfaden zum Berechnen und Entwerfen

von

Lüftungs- und Heizungs-Anlagen.

Auf Anregung

Seiner Excellenz des Herrn Ministers der öffentlichen Arbeiten

verfasst von

H. Rietschel,
Geh. Regierungs-Rath,
Professor an der Kgl. Technischen Hochschule zu Berlin.

Dritte, vollständig neu bearbeitete Auflage.

Erster Theil.

Mit 72 Textfiguren.

LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

Berlin.
Verlag von Julius Springer.
1902.

Digitized by Google

TH7222
.R4
1902
v.1

GENERAL

Alle Rechte, insbesondere das der Uebersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten.

Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

Digitized by Google

Vorwort zur dritten Auflage.

Die dritte Auflage des Leitfadens (thatsächlich die vierte Auflage, da die zweite zweimal gedruckt worden ist) hat eine durchgreifende Neubearbeitung erfahren. Einmal waren es die Fortschritte auf dem Gebiete der Lüftungs- und Heizungstechnik, die eine nicht unwesentliche Erweiterung des Werkes verlangten, dann aber schien es mir wünschenswerth, den von mir angegebenen Berechnungsweisen die Entwicklung derselben beizufügen, um über die Anwendung bei dem ausführenden Ingenieure keinen Zweifel entstehen zu lassen und ihm die eigene wissenschaftliche Behandlung seines Faches zu erleichtern; der Leitfaden ist also nunmehr auch als ein Lehrbuch zu betrachten. Naturgemäss ist dadurch der Umfang gewachsen, doch blieb ich bemüht, die bisher beobachtete knappe Form der Darstellungsweise und die Uebersichtlichkeit möglichst beizubehalten.

Eine für die Praxis wichtige Ergänzung hat der Leitfaden durch die Aufnahme der Ergebnisse von einer grossen Anzahl von Versuchen gefunden, die hauptsächlich über die Wärme-Abgabe von Heizkörpern und über die Wirkung von Wärmeschutzmitteln in der mir unterstehenden Versuchsanstalt für Lüftungs- und Heizungs-Einrichtungen der Technischen Hochschule ausgeführt worden sind.

Erfreulich ist es, zu bemerken, dass die Berechnung der Anlagen in der Praxis auf immer breiterer wissenschaftlicher Grundlage erfolgt. Der grosse Aufschwung der Lüftungs- und Heizungstechnik hat naturgemäss in der Praxis die Konkurrenz gesteigert und erschwert, der ausführende Ingenieur wird daher immer mehr auf die sorgfältigste Berechnung seiner Anlagen verwiesen, da diese allein den geforderten Effekt bei billigster Ausführung der Anlage sicherstellt. Mein stets beobachtetes Bestreben, die Anwendung thunlichst genauer Berechnungsweisen zu ermöglichen, ohne den Aufwand an Arbeitszeit zu vergrössern, hat mich auch veranlasst, die Zahl der Beispiele, deren ein-

105449

Digitized by Google

gehendes Studium ich besonders empfehle, zu vermehren und das Tabellenwerk wesentlich zu erweitern. Die Tabellen sind, sofern ihre Zahlen besonderer Ausrechnung bedurften zur möglichsten Sicherstellung der Zuverlässigkeit, sämmtlich mit Hilfe der Rechenmaschine hergestellt worden. Manche dieser Tabellen, wie z. B. diejenigen über die Rohrweiten der Dampfleitungen, dürften nicht nur dem Heizungsingenieur, sondern auch dem Maschineningenieur von Werth sein. Als Durchmesser fast sämmtlicher Rohre in den Tabellen habe ich die von dem Verbande der Centralheizungs-Industriellen für das „Verbandsrohr" angenommenen unter Weglassung der Bruchtheile von Millimetern gewählt.

Freundliche Unterstützung ist mir von vielen Seiten geworden, von Firmen durch bereitwilliges Ueberlassen der Zeichnungen ihrer neuesten Konstruktionen, die zum Theile in dem Tafelwerke Aufnahme gefunden haben, und durch Andeutungen über wünschenswerthe Vervollkommnungen des Leitfadens, von meinen Assistenten durch gewissenhafte Ausführung der Versuche. Allen, die hierdurch meine Arbeit gefördert haben, spreche ich, besonders auch meinem langjährigen Assistenten Herrn Marx, an dieser Stelle meinen ergebensten Dank aus.

Grunewald-Berlin, im März 1902.

Der Verfasser.

Vorwort zur ersten Auflage.

Wenn ich den auf Anregung Seiner Excellenz des Herrn Ministers der öffentlichen Arbeiten von mir verfassten Leitfaden zum Berechnen und Entwerfen von Lüftungs- und Heizungs-Anlagen hiermit der Oeffentlichkeit übergebe, so geschieht es, weil mir ein für den unmittelbaren Gebrauch in der Praxis bestimmtes und nicht zu umfangreiches Werk zu fehlen scheint

Die auf dem Gebiete des Lüftungs- und Heizungswesens vorhandenen Lehrbücher sind wohl geeignet, dem Ingenieur zum Studium und als Rathgeber, nicht aber bei seinen Ausführungen als Führer dienen zu können, da die allgemeine Behandlung des Stoffes und

Digitized by Google

die theoretischen Entwicklungen die Uebersichtlichkeit vermindern und die für die leichte Benutzung erforderliche knappe Form verbieten.

Der Leitfaden soll der Praxis dienen; er enthält theoretische Entwicklungen nur insoweit, als solche für die richtige Anwendung des Gebotenen unbedingt erforderlich schienen.

Zwischen dem Angebot und der Ausführung von Lüftungs- und Heizungs-Anlagen besteht zur Zeit, wie ich aus meinen zahlreichen Fällen gutachtlicher Thätigkeit weiss, kein richtiges Verhältniss. Für das Angebot sind meist die Ansprüche an die Arbeitslast der ausführenden Ingenieure infolge der Forderung einer unnöthig grossen Anzahl von Zeichnungen, Beschreibungen, Rechnungsbelägen u. s. w. sehr bedeutend, für die Ausführung dagegen wird sowohl in hygienischer als technischer Beziehung häufig ein zu geringer Anspruch an die Ausführenden gestellt und somit dem Entstehen mangelhafter Anlagen der beste Vorschub geleistet.

Auf dem Gebiete des Lüftungs- und Heizungswesens giebt es noch viele Punkte, die sich zur Zeit einer wissenschaftlichen Behandlung entziehen; soweit aber eine solche möglich ist und in dem Rahmen praktischer Verwerthbarkeit liegt, sollte die Anwendung derselben zum Vortheile für die Anlagen und zum Erstehen einer segensreichen Konkurrenz jederzeit verlangt werden. Wissenschaftliche Behandlung allein giebt die Gewähr, dass man sich auf hellen Pfaden bewegt und dass der Schritt, den man oft in der Praxis vom streng richtigen Wege thun muss, nicht zum Fehler wird.

Die Aufgabe, welche ich mir bei Bearbeitung des Leitfadens gestellt habe, ging dahin, die Auftraggeber und bauleitenden Architekten mit den zu erhebenden Forderungen bekannt zu machen, den Ausführenden aber die erforderlichen Berechnungsweisen an die Hand zu geben. Sowohl für das Angebot, als für die Ausführung war ich bemüht, die Arbeit der Berechnung nach Möglichkeit zu verringern und zu erleichtern — die ganze Behandlung des Stoffes und die im II. Theil enthaltenen Tabellen werden dies bestätigen. Zahlreiche Beispiele zeigen die Anwendung des Gebotenen in der Praxis.

Die dem Leitfaden beigegebenen Zeichnungen geben über eine grosse Anzahl und zum Theil der wichtigsten zur Zeit in der Praxis Anwendung findenden Konstruktionen Aufschluss. Um unnöthige Erweiterungen des Textes zu vermeiden, sind den Zeichnungen nur die allernöthigsten Erläuterungen beigefügt worden — sie setzen somit eine gewisse Bekanntschaft mit dem Gebiete, dem sie zugehören, voraus. Am Schlusse des I. Theiles haben noch die neuesten Vor-

Digitized by Google

schriften über Herstellung und Unterhaltung von Centralheizungs- und Lüftungs-Anlagen in den unter Staatsverwaltung stehenden Gebäuden Preussens Aufnahme gefunden.

Berlin, im April 1893.

Der Verfasser.

Vorwort zur zweiten Auflage.

Schon nach Jahresfrist ist die Herausgabe einer neuen Auflage nothwendig geworden; dieselbe ist nur ein durchgesehener Abdruck der ersten.

Da der Leitfaden für die Praxis bestimmt ist, so liegt mir daran, Mängel, die sich bei dem praktischen Gebrauche herausstellen sollten, kennen zu lernen, um sie bei einer nöthig werdenden dritten Auflage vermeiden zu können. Bei der freundlichen Aufnahme, welche sich der Leitfaden zu erfreuen hat, richte ich daher an alle diejenigen, welche mit demselben arbeiten, die Bitte, mir über wünschenswerthe Ergänzungen oder Aenderungen Mittheilung machen zu wollen.

Berlin, im April 1894.

Der Verfasser.

Digitized by Google

Inhaltsverzeichniss.

(Die in Klammern befindlichen Zahlen sind ebenfalls Seitenzahlen.)

Erster Theil.

Lüftung.

Erstes Kapitel.

Seite

Einige Eigenschaften der Luft 3

1. Zusammensetzung der Luft (3). — 2. Ausdehnung der Luft (3). — 3. Druck der Luft (4). — 4. Gewicht der Luft (4). — 5. Erwärmung oder Kühlung der Luft (5). — 6. Mischung verschiedener Luftmengen (5). — 7. Wassergehalt der Luft (5).

Zweites Kapitel.

Nothwendigkeit des Luftwechsels 6

1. Ausscheidung organischer Produkte durch Ausathmung und Ausdünstung der Menschen (6). — 2. Ausscheidung von Wasserdampf durch die Menschen (7). 3. Ausscheidung von Kohlensäure durch die Menschen (7). — 4. Produkte der Beleuchtung (9). — 5. Wärme-Abgabe durch Menschen und Beleuchtung (9).

Drittes Kapitel.

Grösse des Luftwechsels 10

I. Grösse des Luftwechsels unter Zugrundelegung der Kohlensäureproduktion der Menschen und der Beleuchtung 11

1. Berechnung der Grösse des Luftwechsels (11). — 2. Anwendung der Berechnung der Grösse des Luftwechsels in der Praxis (13).

II. Grösse des Luftwechsels unter Zugrundelegung einer nicht zu überschreitenden Temperatur 14

1. Berechnung der Grösse des Luftwechsels (14). — 2. Anwendung der Berechnung der Grösse des Luftwechsels in der Praxis (16).

III. Grösse des Luftwechsels unter Zugrundelegung von Erfahrungssätzen 17

Digitized by Google

Seite

IV. Zusammenstellung der Ergebnisse für Bestimmung der Grösse des Luftwechsels 17

1. Annahme des Luftwechsels für Räume, die keine oder eine über das gewöhnliche Mafs nicht hinausgehende elektrische bezw. Gasglühlichtbeleuchtung besitzen (17). — 2. Annahme des Luftwechsels für Räume, in denen eine bestimmte Temperatur nicht überschritten werden soll, sowie für solche, die durch die einzuführende Luft gleichzeitig erwärmt werden müssen (18).

V. Beispiele für Bestimmung der Grösse des Luftwechsels 18

1. Nach Massgabe eines nicht zu überschreitenden Kohlensäuregehalts (19). — 2. Nach Massgabe einer nicht zu überschreitenden Temperatur (20).

Viertes Kapitel.

Erzielung des Luftwechsels 22

Druckverhältnisse in einem geschlossenen Raume (Neutrale Zone) (22).

I Natürliche Lüftung 25

II. Künstliche (absichtliche Lüftung) 27

Allgemeine Anordnung und Eintheilung der Lüftungsanlagen: a) Zuleitung reiner Luft (27). — b) Ableitung verbrauchter Luft (28).

Fünftes Kapitel.

Anordnung, Ausführung und Bestimmung der einzelnen Theile bezw. Grössen einer Lüftungsanlage 29

I. Entnahme der frischen Luft 29

II. Reinigung der Luft 29

1. Staubkammern (30). — 2. Staubfänger (30). — 3. Filter (31). — Beispiel (32). — 4. Waschen der Luft (33).

III. Befeuchtung der Luft 33

1. Einrichtungen zur Befeuchtung. A) Oertliche Befeuchtung (34). — B) Gemeinsame Befeuchtung: a) Apparate, abhängig von der Wärme des Heizapparates für Erwärmung der Zuluft (35). — b) Apparate, unabhängig von der Wärme des Heizapparates für Erwärmung der Zuluft (35). — 2. Bestimmung der erforderlichen Wassermenge (36). — Beispiel (37).

IV. Trocknung der Luft 37

V. Mittel für die Bewegung der Luft 37

A) Erwärmung der Luft: 1. Einrichtungen zur Erwärmung (38). — 2. Temperaturen der Luft: a) Temperatur der Aussenluft (39). — b) Temperatur des zu lüftenden Raumes (40). — c) Temperatur der Zuluft (41). — d) Temperatur der Abluft (41). — Beispiele für Bestimmung der Abluftemperatur (45). — B) Druck- und Saugeapparate: 1. Apparate zur Nutzbarmachung des Winddrucks (50). — 2. Ventilatoren: a) Strahlapparate (50). — b) Schraubenventilatoren (51). — c) Flügelventilatoren (53). — d) Anordnung der Ventilatoren (53). — e) Wahl der Grösse eines Ventilators (54). — f) Bestimmung der Betriebskraft eines Ventilators (55). — g) Beispiel für Wahl der Grösse eines Ventilators und für Bestimmung der Betriebskraft (56).

Digitized by Google

Seite

VI. Kanäle 56

1. Zuluftkanäle: a) Anordnung der Zuluftkanäle (56). — b) Mündung der Zuluftkanäle und Einströmung der Luft in die Räume (58). — 2. Abluftkanäle: a) Abströmung der Luft aus den Räumen (60). — b) Führung der Kanäle für Abluft (61). — 3. Ausführung der Kanäle (63). — 4. Berechnung der Kanäle: a) Erforderliche Geschwindigkeit (64). — b) Erreichbare Geschwindigkeit: α) Aufstellung der Gleichung (64). — β) Bestimmung der Bewegungswiderstände (73).

Sechstes Kapitel.

Entwerfen und Berechnen von Lüftungsanlagen 75

I. Aufstellung der Forderungen 75

II. Wahl des Lüftungssystems 75

1. Die höchste äussere Temperatur, bis zu welcher der Luftwechsel gefordert wird (76). — 2. Die in den zu lüftenden Räumen einzuhaltenden Druckverhältnisse (76).

III. Entwurf 79

IV. Berechnung einer Lüftungsanlage 79

A) Theile bezw. Grössen, deren Bestimmung vor Berechnung der Kanalanlage zu erfolgen hat (80). — B) Bestimmung der Kanalanlage, einschliesslich der Theile bezw. Grössen, die von derselben abhängig sind (80). — 1. Kanäle, deren Querschnitt unter Annahme der Geschwindigkeit der zu fördernden Luft oder nach baulichen Verhältnissen bestimmt werden können: a) Bei allen Anlagen (83). — b) Bei Anlagen mittels Temperaturdifferenz ohne besondere Erwärmung der Abluft (84). — c) Bei Anlagen mittels Temperaturdifferenz unter besonderer Erwärmung der Abluft (84). — d) Bei Anlagen unter Anwendung von Ventilatoren (85). — 2. Kanäle, deren Querschnitte nicht gewählt werden können, sondern nach Massgabe der Gleichungen für die erforderliche und erreichbare Geschwindigkeit zu berechnen sind (85): a) Aufstellung der allgemeinen Gleichungen. α) Getrennte Berechnung der Abluft- und Zuluftanlage. Die Grenzebene der beiden Anlagen bildet die neutrale Zone (86). — β) Getrennte Berechnung der Abluft- und Zuluftanlage. In der Grenzebene der beiden Anlagen soll eine Ueberdruck- oder Unterdruckhöhe H, gegeben in der Temperatur t_m, herrschen (87). — γ) Gemeinsame Berechnung der Abluft- und Zuluftanlage (87). — b) Anwendung der allgemeinen Gleichungen für verschiedene Fälle (89).

V. Berechnung der Lüftungsanlagen in der Praxis 95

a) Berechnung der Anlagen für den Kostenanschlag (95). — b) Berechnung der Anlagen für die Ausführung (96).

VI. Beispiele für die Berechnung von Lüftungsanlagen 98

A) Lüftung mittels Temperaturdifferenz ohne besondere Erwärmung der Abluft: 1. Abluft- und Zuluftanlage erfahren getrennte Berechnung. Die Grenzebene der beiden Anlagen bildet die neutrale Zone (98). — 2. Abluft- und Zuluftanlage erfahren gemeinsame Berechnung (108). — B) Saugelüftung: 1. Lüftung mittels Temperaturdifferenz unter besonderer Erwärmung der Abluft (110). — 2. Lüftung mittels Exhaustors (112). — C) Drucklüftung: 1. Abluft- und Zuluftanlage erfahren getrennte Berechnung. In der Grenzebene der beiden Anlagen soll ein Ueberdruck von 2 m Luftsäule von 0° herrschen (114). — 2. Abluft- und Zuluftanlage erfahren gemeinsame Berechnung (117).

Digitized by Google

Heizung.

Siebentes Kapitel.

Seite

Entwickelung und Nutzbarmachung der Wärme . . . 121

I. Brennstoffe 121

II. Verbrennung und Wärme-Entwickelung 123

1. Rost und Aschfall (123). — 2. Verbrennungsraum (125). — 3. Regelung der Verbrennung (125). — 4. Rauchbildung: a) Besondere Form und Stellung des Rostes (126). — b) Allmähliche Einführung des Brennmaterials (127). — c) Zuführung erwärmter Luft über oder hinter der Feuerbrücke (127). — d) Anordnung mehrerer neben, hinter oder über einander liegender Roste (127). — e) Umkehrung des Zuges (128). — f) Besondere Zubereitung des Brennmaterials (128). — g) Gasfeuerung (128).

III. Schornstein 128

1. Angenäherte Berechnung (128). — 2. Genauere Berechnung (129). — 3. Beispiele zur Berechnung eines Schornsteins für verschiedene Fälle (133).

Achtes Kapitel.

Erforderliche Wärmemenge zur Erwärmung eines geschlossenen Raumes 136

I. Wärme-Ueberführung im Allgemeinen 136

II. Wärmemenge, die stündlich im Beharrungszustande durch die Umschliessungskörper eines Raumes verloren geht (Wärmetransmission) 137

1. Aufstellung der Gleichung (137). — 2. Bestimmung des Transmissionskoefficienten k für verschiedene Fälle (140). — 3. Beispiele für Bestimmung von Transmissionskoefficienten (148). — 4. Bestimmung der Aussentemperatur (148). — 5. Bestimmung der Innentemperatur (149). — 6. Sicherheitszuschläge (150).

III. Wärmemenge, die vor dem Beharrungszustande der Erwärmung eines Raumes (Anheizdauer) durch die Wärme-Aufnahme der Umschliessungskörper verloren geht (Wärme-Absorption) 150

1. Räume, die keine sehr bedeutende Grösse besitzen (151). — 2. Räume, die eine bedeutende Grösse besitzen, seltener und nur kurze Zeit benutzt werden (Kirchen, Hallen u. s. w.) (152).

IV. Berechnung der Wärmeverluste in der Praxis 153

1. Aufstellung der Wärmeverluste (153). — 2. Beispiele einer Wärmetransmissions-Berechnung und der Temperatur-Bestimmung eines unbeheizten Raumes (156).

Neuntes Kapitel.

Ueber Heizungsanlagen im Allgemeinen 158

I. Feuerungsanlage und Heizfläche zur Wärme-Aufnahme (Wärmerecipient) 159

Digitized by Google

Seite

II. Heizkörper zur Erwärmung der Räume 161
1. Anordnung der Heizkörper (161). — 2. Verkleidung der Heizkörper (163). — 3. Reinigung der Heizkörper von Staub. Erhaltung reiner Luft (164).
III. Berechnung der Heizflächen 164
1. Aufstellung der Gleichung (164). — 2. Bestimmung des Transmissionskoefficienten k (167). — 3. Bestimmung der Heizflächen in der Praxis (180). — Beispiele zur Bestimmung der Heizflächen (181).
IV. Schutz vor Wärme-Abgabe 183
V. Betrieb der Heizungsanlagen 186
VI. Eintheilung der Heizungsanlagen 186

Zehntes Kapitel.

Lokalheizung 188
I. Kaminheizung 188
II. Ofenheizung 189
1. Oefen für schnelles, aber nicht nachhaltiges Erwärmen der Räume (190). — 2. Oefen für schnelles und nachhaltiges Erwärmen der Räume (191). — 3. Oefen für langsames und nachhaltiges Erwärmen der Räume (191). — 4. Oefen für Dauerbetrieb (192). — 5. Oefen zur Erwärmung und gleichzeitigen Lüftung der Räume (193). — 6. Grössenbestimmung der Oefen (193).
III. Kanalheizung 194
Anordnung und Berechnung (194). — Beispiel zur Berechnung einer Kanalheizung (195).
IV. Gasheizung 196
1. Anwendung der Gasheizung (196). — 2. Konstruktion der Gasöfen (197). — 3. Grössenbestimmung der Gasöfen (198).

Elftes Kapitel.

Warmwasserheizung 199
I. Allgemeine Anordnung und Anwendungsgebiet 199
II. Grösse der Wassermenge in einer Warmwasserheizung 203
III. Die Heizkessel einer Warmwasserheizung 204
1. Eintheilung der Kessel (204): a) Kessel für rasches Hochheizen und rasches Erkalten (205). — b) Kessel für langsames Hochheizen und langsames Erkalten (205). — c) Kessel für rasches Hochheizen und langsames Erkalten (205). — d) Kessel für Dauerbetrieb (205). — e) Kessel für besondere Zwecke (205). — 2. Ausrüstung der Kessel (206). — 3. Berechnung der Kessel (207): a) Heizfläche für den Beharrungszustand (208). — b) Heizfläche für das Anheizen (208). — 4. Abmessung der Kessel.
IV. Die Heizkörper einer Warmwasserheizung 211
1. Form der Heizkörper: a) Gusseiserne Heizkörper (211). — b) Schmiedeeiserne Heizkörper (211). — 2. Regelung der Wärme-Abgabe der Heizkörper (212). — 3. Berechnung der Heizkörper (214).
V. Die Rohrleitung einer Warmwasserheizung 214
1. Ausführung der Rohrleitung (218). — 2. Berechnung der Rohrleitung für die verschiedensten Fälle: A) Theorie (216). — B) Praktische Anwendung der Theorie (232). — C) Beispiele zur Bestimmung der Rohrdurchmesser einer Warmwasserheizung für den Anschlag und für die Ausführung (240).

Digitized by Google

Zwölftes Kapitel.

Seite

Heisswasserheizung 255

I. Anordnung, Ausführung und Anwendungsgebiet 255
II. Berechnung der Heisswasserheizung 259
A) Theorie (259). — B) Anwendung der Theorie: Beheizung eines einzelnen Raumes (263). — Beheizung mehrerer in demselben Stockwerke liegender Räume (263 u. 268). — Beheizung mehrerer in verschiedenen Stockwerken liegender Räume (269 u. 272).
III. Beispiele für Berechnung einer Heisswasserheizung 272
Beheizung eines einzelnen Raumes (272). — Beheizung von 3 neben einander liegenden Räumen (273 u. 278). — Beheizung mehrerer in verschiedenen Stockwerken liegender Räume (279).

Dreizehntes Kapitel.

Hochdruck-Dampfheizung 281

I. Anwendungsgebiet der Hochdruck-Dampfheizung. Fernheizung 281
II. Wahl der Spannung des Dampfes 284
III. Allgemeine Anordnung einer Hochdruck-Dampfheizung . . . 284
IV. Die Dampfkessel einer Hochdruck-Dampfheizung 286
1. Allgemeines (286). — 2. Berechnung der Dampfkessel (283).
V. Die Heizkörper einer Hochdruck-Dampfheizung 289
1. Konstruktion und Ausrüstung der Heizkörper (289). — 2. Regelung der Heizkörper (290). — 3. Berechnung der Heizkörper (291).
VI. Die Rohrleitungen einer Hochdruck-Dampfheizung und deren Ausrüstung 292
1. Anordnung der Dampfleitungen (292). — 2. Ausführung der Dampfleitungen (293). — 3. Anordnung und Ausführung der Niederschlagswasserleitungen (296).
VII. Berechnung der Dampfleitungen 298
A) Theorie (298). — B) Anwendung der Theorie auf die Praxis für verschiedene Fälle (303). — C) Beispiele zur Berechnung einer Hochdruckdampfleitung (309).
VIII. Berechnung der Niederschlagswasserleitungen 318

Vierzehntes Kapitel.

Niederdruck-Dampfheizung 320

I. Anwendungsgebiet der Niederdruck-Dampfheizung und Wahl der Spannung des Dampfes 320
II. Allgemeine Anordnung einer Niederdruck-Dampfheizung . . . 323
III. Die Dampfkessel einer Niederdruck-Dampfheizung 324
1. Allgemeines (Verbrennungsregler) (324). — 2. Berechnung der Dampfkessel (326).

Digitized by Google

Seite

IV. Die Heizkörper einer Niederdruck-Dampfheizung 327
1. Konstruktion der Heizkörper und Regelung der Wärme-Abgabe (327). — 2. Berechnung der Heizkörper (329).

V. Die Rohrleitungen einer Niederdruck-Dampfheizung 330
1. Anordnung und Ausführung der Rohrleitungen (330). — 2. Berechnung der Rohrleitungen: a) Bestimmung der Rohrdurchmesser (330). — b) Annahme der Druckverhältnisse in den Rohrleitungen (333). — 3. Beispiel zur Berechnung der Rohrleitung einer Niederdruck-Dampfheizung (338).

Fünfzehntes Kapitel.

A. Dampf-Warmwasserheizung 342

1. Allgemeine Anordnung und Anwendungsgebiet (342). — 2. Berechnung einer Dampf-Warmwasserheizung (345). — Beispiel (345). — „System Reck“ (347).

B. Dampf-Wasserheizung 349

Sechzehntes Kapitel.

Luftheizung 350

I. Anordnung, Ausführung und Anwendungsgebiet einer Luftheizung 350

II. Die Kanalanlage einer Luftheizung 352
1. Anordnung der Kanäle, Abkühlung der Luft in denselben (352). — 2. Berechnung der Kanalquerschnitte. Fall 1. Der Luftwechsel in den zu erwärmenden Räumen ist nicht vorgeschrieben: a) Erforderlicher Luftwechsel zur Erwärmung eines Raumes (354). — b) Luftmenge, die bei der niedrigsten Aussentemperatur von aussen zu entnehmen ist (355). — c) Luftmenge, die am Heizapparate zu erwärmen ist (355). — d) Luftmenge, die der Berechnung der Kanalquerschnitte zu Grunde zu legen ist (355). — e) Temperaturen, die der Berechnung der Kanalquerschnitte zu Grunde zu legen sind (357). — Fall 2. Der Luftwechsel in den zu lüftenden Räumen ist vorgeschrieben: a) Bestimmung der Einströmungstemperatur der Zuluft für den grössten Wärmebedarf unter Annahme des vorgeschriebenen Luftwechsels, bezw. Feststellung des erforderlichen Luftwechsels bei der niedrigsten Aussentemperatur (358). — b) Luftmenge, die bei der niedrigsten Aussentemperatur von aussen zu entnehmen ist (359). — c) Luftmenge, die am Heizapparate zu erwärmen ist (359). — d) Luftmenge, die der Berechnung der Kanalquerschnitte zu Grunde zu legen ist (359).

III. Die Heizapparate einer Luftheizung 360
1. Ausführung und Konstruktion der Heizapparate: a) Feuer-Luftheizung (360). — b) Wasser- bezw. Dampf-Luftheizung (362). — 2. Berechnung der Heizapparate: a) Wärmemenge, die der Heizapparat zu liefern hat (363). — b) Grösse des Heizapparates: *α)* Feuer-Luftheizung (364). — *β)* Wasser- bezw. Dampf-Luftheizung (365).

IV. Beispiele für Berechnung einer Luftheizung 365
Fall 1. Der Luftwechsel in den zu erwärmenden Räumen ist nicht vor-

Digitized by Google

geschrieben, derselbe hat sich nur nach dem Wärmebedarfe zu richten (365). — Fall 2. Der Luftwechsel in den zu erwärmenden Räumen ist vorgeschrieben (367).

Siebzehntes Kapitel.

Kühlung der Räume 372

(Negative Heizung.)

I. Kühlmittel 373
1. Wände (373). — 2. Unterirdische Kanäle (374). — 3. Flüssigkeiten: a) Unmittelbare Berührung mit der Luft (374). — b) Mittelbare Berührung mit der Luft (Anwendung von Kühlkörpern) (375). — 4. Verdichtung und Abkühlung der Luft vor Einführung in die Räume (375).

II. Ausführung der Kühlflächen 375

III. Berechnung einer Kühlungsanlage 376
A) Bestimmung der Grössenverhältnisse für die Zeit während der Benutzung der Räume: 1. Bestimmung der Temperatur im Raume während der Benutzung (376). — 2. Bestimmung der Wärmemenge, die stündlich im Beharrungszustande beseitigt werden soll (376). — 3. Bestimmung des erforderlichen geringsten Luftwechsels im Raume (377). — 4. Bestimmung der durch Menschen und Gasbeleuchtung dem Raume zugeführten Wassermenge (377). — 5. Bestimmung der Wassermenge, die in der eingeführten Luft enthalten sein darf (377). — 6. Bestimmung der Wassermenge, welche die Kühlflächen stündlich aus der Luft niederzuschlagen haben (378). — 7. Bestimmung der Temperatur t_1, auf welche die einzuführende Luft gekühlt werden muss, damit sie nicht mehr als B kg Wasser enthält (378): a) Die gesammte Luft wird an dem Kühlkörper vorübergeführt und gekühlt (379). — b) Ein Theil der von aussen entnommenen Luft wird gekühlt und alsdann mit dem ungekühlten Theile gemischt (379). — 8. Bestimmung der Wärmemenge, die die Kühlflächen stündlich aufzunehmen haben (381). — 9. Bestimmung der Kühlflächen (381). — B) Bestimmung der Grössenverhältnisse für die Zeit vor der Benutzung der Räume: 1. Bestimmung der Wärmemenge, die aus den Räumen wegzuschaffen ist (381). — 2. Bestimmung des stündlichen Luftwechsels, der zur Kühlung des Raumes erforderlich ist (382). — 3. Bestimmung der Wassermenge, die der Luft stündlich im Mittel zu entziehen ist (383). — 4. Bestimmung der Kühlflächen (383).

IV. Beispiel zur Berechnung einer Kühlungsanlage 384
A) Bestimmung der Grössenverhältnisse für die Zeit während der Benutzung der Räume (384). — B) Bestimmung der Grössenverhältnisse für die Zeit vor Benutzung der Räume (387).

Achtzehntes Kapitel.

Vergebung von Lüftungs- und Heizungsanlagen 388

I. Programm für die Ausführung von Lüftungs- und Heizungsanlagen 389
A) Bedingungen für den Effekt der Anlagen (390). — B) Bedingungen für das Angebot und die Ausführung der Anlagen (395).

II. Prüfung der Entwürfe von Lüftungs- und Heizungsanlagen . . 399

Digitized by Google

Neunzehntes Kapitel.

Seite
Prüfung von Anlagen 402
I. Lüftungsanlagen 402
II. Heizungsanlagen 404

Anhang.

I. Anweisung zur Herstellung und Unterhaltung von Centralheizungs- und Lüftungsanlagen in den unter Staatsverwaltung stehenden Gebäuden Preussens 407
II. Litteratur-Verzeichniss 450

Sachregister 453

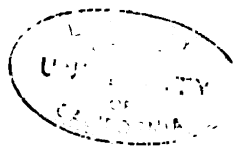
Digitized by Google

Digitized by Google

Lüftung.

Digitized by Google

Digitized by Google



Erstes Kapitel.

Einige Eigenschaften der Luft.

1. Zusammensetzung der Luft.

Die Luft im reinen Zustande ist der Hauptsache nach ein Gemenge von Sauerstoff, Stickstoff, Wasserdampf und Kohlensäure. Von den letzteren beiden abgesehen, besteht die Luft dem Volumen nach aus 21 Theilen Sauerstoff und 79 Theilen Stickstoff, dem Gewichte nach aus 24 Theilen Sauerstoff und 76 Theilen Stickstoff. Der Wasserdampfgehalt schwankt innerhalb weiter Grenzen; der Kohlensäuregehalt beträgt im Mittel etwa $0{,}4\,^0/_{00}$.

2. Ausdehnung der Luft.

Die Luft dehnt sich bei Erwärmung von 0^0 auf 1^0 der hunderttheiligen Thermometerskala — auf die in der Folge alle Temperaturen bezogen werden — um $0{,}003665 = \frac{1}{273}$ ihres Volumens aus. Dieser Werth wird mit dem Buchstaben α bezeichnet und heisst der Ausdehnungskoefficient der Luft. Das Volumen L_0 bei 0^0 ist daher nach Erwärmung auf t^0 übergegangen in das Volumen:

$$L = L_0 (1 + \alpha t). \qquad (1)$$

Ist das Volumen L bei t^0 gegeben, so ist dies auf 0^0 reducirt

$$L_0 = \frac{L}{1 + \alpha t}. \qquad (2)$$

$\frac{1}{1 + \alpha t}$ ist allgemein die Dichtigkeit der Luft bezogen auf Luft von 0^0.

Ist das Volumen L in der Temperatur t gegeben und wird dasselbe auf t_1^0 erwärmt (bezw. gekühlt), so geht es in das andere über:

$$L_1 = L \frac{1 + \alpha t_1}{1 + \alpha t}. \qquad (3)$$

Digitized by Google

(Die Werthe von $1+\alpha t$ und $\frac{1}{1+\alpha t}$ sind aus Tabelle 1, diejenigen von $\frac{1+\alpha t_1}{1+\alpha t}$ aus Tabelle 2 zu entnehmen.)

3. Druck der Luft.

Der Druck der Luft wird gemessen durch die Höhe einer Flüssigkeitssäule im leeren Raume, die der Luft das Gleichgewicht hält (Barometer). Der normale (mittlere) Barometerstand gemessen über dem Meeresspiegel beträgt 760 mm Quecksilbersäule oder 10,333 m (für die Praxis rund 10 m) Wassersäule.

Der mittlere Druck der Atmosphäre über dem Meeresspiegel stellt sich somit auf 10 333 kg/qm (für die Praxis rund 10 000 kg/qm) oder auf rund 1 kg/qcm.

In der Praxis giebt man den Druck auch vielfach statt in kg in der Höhe einer Wassersäule an, und da eine Wassersäule von 1 mm Höhe und 1 qm Fläche 1 kg wiegt, so bezeichnet „ein Druck von x mm Wassersäule“ einen Druck von x kg/qm.

4. Gewicht der Luft.

1 cbm trockene Luft von 0^0 bei 760 mm Barometerstand wiegt (n. Regnault) 1,293 187 kg, abgekürzt 1,293 kg. 1 cbm trockene Luft von t^0 bei 760 mm Barometerstand wiegt:

$$\frac{1{,}293}{1+\alpha t},$$

1 cbm trockene Luft von t^0 bei S mm Barometerstand wiegt:

$$\frac{1{,}293\,S}{(1+\alpha t)\,760},$$

1 cbm mit Wasserdampf gesättigte Luft von t^0 bei S mm Barometerstand und bei einer Spannung des Dampfes von S_1 mm Quecksilbersäule wiegt:

$$\frac{1{,}293\ (S-0{,}377\,S_1)}{(1+\alpha t)\ 760}.$$

Da bei demselben Barometerstande die feuchte Luft somit leichter ist als trockene Luft, in der Lüftungstechnik aber stets mit den ungünstigsten Verhältnissen gerechnet werden muss, soll für die Berechnung von Anlagen allgemein das Gewicht von L cbm Luft bei t^0 gesetzt werden:

$$G=\frac{1{,}293\,L}{1+\alpha t}\ \text{kg}. \qquad (4)$$

(Das Gewicht eines Kubikmeters Luft bei verschiedenen Temperaturen ist aus Tabelle 1 zu entnehmen.)

Digitized by Google

5. Erwärmung oder Kühlung der Luft.

Die specifische Wärme der Luft bei konstantem Druck ist 0,237, mithin ist einer Luftmenge von G kg $= L$ cbm von der Temperatur t^0 behufs Erwärmung von t^0 auf $t_1{}^0$ $(t < t_1)$ die Wärmemenge:

$$W = 0{,}237\ G\ (t_1 - t) = \frac{0{,}306\ L}{1 + \alpha t}\ (t_1 - t)\ WE \qquad (5\,a)$$

zuzuführen, behufs Kühlung von t^0 auf $t_1{}^0$ $(t > t_1)$ die Wärmemenge:

$$W = 0{,}237\ G\ (t - t_1) = \frac{0{,}306\ L}{1 + \alpha t}\ (t - t_1)\ WE \qquad (5\,b)$$

abzunehmen.

WE bezeichnet die Abkürzung für Wärmeeinheiten.

Unter einer „Wärmeeinheit" ist diejenige Wärmemenge zu verstehen, die erforderlich ist, um 1 kg Wasser von 0^0 auf 1^0 zu erwärmen oder, da die Dichtigkeit des Wassers bei verschiedenen Wärmegraden nicht bedeutend abweicht, allgemein für die Praxis diejenige Wärmemenge, die 1 kg Wasser um 1^0 zu erwärmen vermag.

Ist die Luftmenge L zwar in der Temperatur t gefordert, sie soll aber von einer Temperatur t_0 auf die Temperatur t_1 erwärmt, bezw. von der Temperatur t_1 auf die Temperatur t_0 gekühlt werden, so ist die zuzuführende bezw. abzunehmende Wärmemenge:

$$W = \frac{0{,}306\ L}{1 + \alpha t}\ (t_1 - t_0). \qquad (5\,c)$$

Die Werthe von W nach Ausdruck 5c für die in der Praxis am häufigsten vorkommenden Temperaturen t und für verschiedene Temperaturunterschiede $(t_1 - t_0)$ sind Tabelle 3 zu entnehmen.

6. Mischung verschiedener Luftmengen.

Werden m kg $= L$ cbm Luft von t^0 mit n kg $= L_1$ cbm Luft von $t_1{}^0$ gemischt, so ist die Mischungstemperatur:

$$t_x = \frac{mt + nt_1}{m + n} = \frac{Lt(1 + \alpha t_1) + L_1 t_1 (1 + \alpha t)}{L(1 + \alpha t_1) + L_1 (1 + \alpha t)}. \qquad (6)$$

7. Wassergehalt der Luft.

Die in einem Kubikmeter bezw. einem Kilogramm gesättigter Luft von t^0 enthaltene Menge Wasser in kg bei 760 mm Barometerstand und einer Dampfspannung von S_1 mm Quecksilbersäule beträgt, wenn die Dichtigkeit des Dampfes bezogen auf Luft zu 0,623 angenommen wird:

$$g = \frac{1{,}293\ S_1}{(1 + \alpha t)\ 760}\ 0{,}623 = \frac{0{,}00106\ S_1}{1 + \alpha t} \text{ bezw. } = \frac{0{,}623\ S_1}{760} = 0{,}00082\ S_1 \qquad (7)$$

Digitized by Google

(Die Werthe von g und S_1 bei verschiedenen Temperaturen sind Tabelle 1 zu entnehmen.)

Unter „absoluter Feuchtigkeit" ist diejenige Gewichtsmenge Wasser zu verstehen, welche die Luft thatsächlich enthält; unter „relativer Feuchtigkeit" das Verhältniss der Menge Wasser, die in der Luft enthalten ist, zu derjenigen, die sie im gesättigten Zustande enthalten würde, also ein Procentsatz der Sättigung. Die absolute Feuchtigkeit bleibt auch nach Erwärmung und sofern der Thaupunkt nicht unterschritten wird, auch nach Abkühlung der Luft dieselbe; die relative ändert sich mit der Zunahme und bis zum Eintritt des Thaupunktes mit der Abnahme der Temperatur.

Enthält 1 cbm Luft von t^0 im gesättigten Zustande g kg Wasser, ist aber nur auf $p\,^0/_0$ gesättigt und wird derselbe auf $t_1{}^0$ erwärmt oder abgekühlt, so stellt sich alsdann der Procentsatz p_1 der Sättigung, wenn 1 cbm von $t_1{}^0$ im gesättigten Zustande g_1 kg Wasser aufnehmen kann:

$$p_1 = \frac{p g (1 + \alpha t)}{g_1 (1 + \alpha t_1)}. \qquad (8)$$

Ergiebt sich bei Abkühlung $p_1 > 100$, so ist die Luft gesättigt, der über 100 hinausgehende Procentsatz aber als ausgeschieden zu betrachten.

Zweites Kapitel.

Nothwendigkeit des Luftwechsels.

Die Nothwendigkeit eines regelmässigen Luftwechsels in geschlossenen von Menschen benutzten Räumen ergiebt sich infolge der jederzeit stattfindenden Güteverminderung der Luft. Die Ursachen dieser Güteverminderung sind im wesentlichen — sofern nicht eine von Fall zu Fall zu behandelnde Verunreinigung der Luft durch mechanische oder chemische Vorgänge vorliegt — folgende.

1. Ausscheidung organischer Produkte durch Ausathmung und Ausdünstung der Menschen.

Dieselbe ist zur Zeit noch garnicht oder unzulänglich bestimmbar; die organischen Produkte sind theils gas-, theils dunstförmig, theils an Staub gebunden und geben die Ursache des Zimmergeruchs. von Pettenkofer sagt, dass sie die Widerstandsfähigkeit gegen krankmachende Agentien herabsetzen.

Digitized by Google

2. Ausscheidung von Wasserdampf durch die Menschen.

Dieselbe ist wechselnd je nach dem Wassergehalt der umgebenden Luft und je nach Alter, Kost, körperlicher Beschäftigung der Menschen. Im Mittel kann man die stündliche Wasserabgabe eines Erwachsenen nach Versuchen von von Pettenkofer und Voit bei Ruhe und mittlerer Kost zu etwa 0,04 kg, bei körperlicher Arbeitsleistung zu 0,08 kg annehmen; für ein Kind rechnet man die Hälfte.

Wissenschaftlich ist noch nicht erwiesen, welcher Feuchtigkeitsgehalt der den Menschen umgebenden Luft für die Gesundheit am zuträglichsten ist, oder richtiger (n. Flügge), welches Sättigungsdeficit die Luft an Feuchtigkeit besitzen soll.*) Es ist zweifellos, dass die in der Luft enthaltene Wassermenge auf die Wärmeökonomie des Körpers einen nicht zu unterschätzenden Einfluss hat. Zu trockne und zu feuchte Luft, besonders die letztere, rufen belästigende Wirkungen hervor, weniger (n. Flügge) infolge Differenzen der Wasserdampfabgabe, als infolge Störungen der Wärmeregelung des Körpers. Die Zunahme der Luftfeuchtigkeit bei niedrigen Temperaturen um 12,8 % erzeugt eine ähnliche Vermehrung des Wärmeverlustes durch Leitung, wie eine Verminderung der Temperatur um 1^0 (Rubner).

Im Winter bei geheizten Räumen ist auf Beseitigung des von den Anwesenden abgegebenen Wasserdampfes keine besondere Rücksicht, wohl aber bei einem einigermassen kräftigen Luftwechsel behufs Vermeidung eines zu geringen Feuchtigkeitsgehaltes auf künstliche Anfeuchtung der Luft Bedacht zu nehmen. Im Sommer dagegen wird häufig der Wunsch entstehen oder die Forderung gestellt werden müssen, eine Verminderung des Feuchtigkeitsgehalts der Luft herbeizuführen. Im Allgemeinen ist wohl anzunehmen, dass in geschlossenen Räumen zu trockne Luft weniger nachtheilig für die Gesundheit ist, als zu feuchte Luft, zumal da die Lebensfähigkeit und Vermehrung der Mikroorganismen vielfach durch feuchte Luft begünstigt werden.

Der Techniker wird allen Ansprüchen genügen, wenn er bei seinen Anlagen Vorsorge trifft, dass in geschlossenen Räumen im Winter ohne Berücksichtigung der Wasserverdunstung der Anwesenden bei vollem Lüftungsbetriebe ein Feuchtigkeitsgehalt von 50 % der absoluten Sättigung zu erreichen ist, im Sommer bei Kühlanlagen unter Berücksichtigung der Wasserverdunstung der Anwesenden ein solcher von 70 % nicht überschritten wird.

3. Ausscheidung von Kohlensäure durch die Menschen.

Der Mensch entzieht beim Athmen der Luft Sauerstoff und ersetzt denselben durch Kohlensäure. Fortgesetztes Einathmen bedeutender Mengen Kohlensäure führt den Tod des Menschen herbei. Die aus-

*) S. a. Gesundheits-Ingenieur 1888, No. 1.

Digitized by Google

geathmete oder durch Beleuchtung erzeugte Kohlensäure erreicht infolge Durchlässigkeit der Baumaterialien, besonders aber infolge Undichtheit der Fenster und Thürverschlüsse selten eine der Gesundheit nachtheilige Höhe. Die ausgeathmete Kohlensäure gewinnt aber eine Bedeutung für die Nothwendigkeit des Luftwechsels, insofern als nach von Pettenkofer anzunehmen ist, dass die Ausscheidung organischer Produkte beim Menschen proportional der ausgeathmeten Kohlensäure gesetzt, die letztere daher als Massstab der Luftverunreinigung durch Ausathmung und Ausdünstung angesehen werden kann.

Die Kohlensäure hat ein spec. Gewicht bezogen auf Luft von 1,529; trotzdem ist infolge von Diffusion und der beständigen Luftbewegung in einem geschlossenen von Menschen benutzten Raume der Kohlensäuregehalt über dem Fussboden und unter der Decke nahezu der gleiche.

Die Kohlensäure-Entwickelung beim Menschen ist verschieden je nach Alter, Geschlecht, Beschäftigung und Kost. Die stündliche Kohlensäure-Entwickelung geht aus folgender Tabelle hervor:

	Alter Jahre	Körper-Gewicht kg	Stündliche Kohlensäure-Entwickelung cbm	
Kräftiger Arbeiter bei der Arbeit .	28	72,00	0,0363	nach von Pettenkofer*)
Kräftiger Arbeiter bei der Ruhe . .	28	72,00	0,0226	
Mann	28	82,00	0,0186	nach Scharling**)
Frau	35	65,00	0,017	
Jüngling	16	57,75	0,0174	
Jungfrau	17	55,75	0,0129	
Knabe	9,75	22,00	0,0103	
Mädchen	10	23,00	0,0097	

Zufolge vorstehender Beobachtungswerthe wird man sich in der Praxis auf folgende Annahmen für die stündliche Kohlensäure-Entwickelung einigen können:

Arbeiter bei der Arbeit . . . . . 0,036 cbm,
Arbeiter bei der Ruhe . . . . . 0,023 „
Erwachsene im Mittel . . . . . 0,020 „
Halb-Erwachsene im Mittel . . . . . 0,016 „
Kinder . . . . . 0,010 „

Diese Werthe gelten für normale Raumtemperatur.

*) Zeitschrift für Biologie, Bd. II.
**) C. S. Lehmann, Handb. d. physiol. Chemie, Leipzig 1854.

Digitized by Google

4. Produkte der Beleuchtung.

Für diese soll wiederum nach von Pettenkofer die bei der Verbrennung gebildete Kohlensäure den Massstab der Verunreinigung bilden.

Nach Fischer*) beträgt die bei der Verbrennung entwickelte Kohlensäure reducirt auf 0^0 bei

Leuchtgas	0,57 cbm,
Petroleum	1,57 „

5. Wärmeabgabe durch Menschen und Beleuchtung.

Die Wärmeabgabe durch Menschen und Beleuchtung muss, sofern durch dieselbe die Temperatur über eine der Gesundheit zuträgliche Höhe ansteigt, ebenfalls als Ursache für die Güteverminderung der Luft angesehen werden. Die stündliche Wärmeabgabe der Menschen an die Luft wird verschieden angegeben, sie beträgt nach Rubner bei Erwachsenen:

im ruhenden Zustand	96,0 *WE*,
bei mittlerer Arbeit	118,5 „ ,
bei schwerer Arbeit	140,0 „ ,
im Alter	90,0 „ .

Nach von Pettenkofer kann sie zu etwa 100 *WE*, bei Kindern zu etwa 50 WE angenommen werden.

Die Wärmeabgabe des menschlichen Körpers ist innerhalb gewisser Grenzen nennenswerthen Schwankungen nicht unterworfen. Bei Verminderung (Rückstrahlung) oder Aufhebung (Kleidung, Bad) der Wärmestrahlung übernimmt (n. Rubner) die Wärmeleitung und Wasserverdunstung die Wärmeabgabe. Da für die Erhöhung der Lufttemperatur nur die Wärmeabgabe durch Strahlung und Leitung in Frage kommt, diese aber von der Temperaturdifferenz zwischen Körperwärme (37^0 C.) und umgebender Luft abhängig ist, so soll für gewöhnliche Verhältnisse die Wärme-Entwickelung eines

$$\begin{array}{ll} \text{Erwachsenen} & W = 6\ (37 - t), \\ \text{Kindes} & W = 3\ (37 - t) \end{array} \qquad (9)$$

gesetzt werden, wenn t die Temperatur der umgebenden Luft bedeutet.

Die Wärme-Entwickelung durch die Beleuchtung**) geht aus folgender Aufstellung hervor:

---

*) Fischer, Jahresbericht d. chem. Technologie 1883.

**) W. Wedding, Deutsche Vierteljahrsschrift f. öff. Ges.-Pflege 1901.

Digitized by Google

Beleuchtungsart	Lichtstärke in Kerzen	Stündl. Verbrauch	Stündl. aufgewendete Wärme in *WE* im Ganzen	für 1 Kerze
Gasbeleuchtung:				
Braybrenner	30	400 Liter	2000	66,7
Argandbrenner	20	200 „	1000	50
Regenerativbrenner	111	408 „	2042	18,4
Gasglühlicht	50	100 „	500	10
Lucaslicht	500	500-600 „	2500—3000	5—6
Spiritusglühlicht	30	0,057 „	336	11,2
Petroleumlicht	30	0,108 „	862	28,7
Acetylenlicht	60	36 „	328	5,5
Elektrische Beleuchtung:				
Kohlefadenglühlicht	16	48 Watt	41,5	2,59
Nernstlicht	25	38 „	32,8	1,3
Bogenlicht	600	258 „	222	0,37

In der stündlich aufgewendeten Wärme ist sowohl die zur Lichtbildung und die event. zur Wasserverdunstung erforderliche, als die frei werdende enthalten. Die zur Lichtbildung erforderliche ist zur Zeit noch nicht genau festgestellt, beträgt aber nur für die gewöhnliche Leuchtgasflamme etwa $^1/_8\,^0/_0$ der Gesammtenergie, bei elektrischem Glühlicht etwa $3\,^0/_0$, bei elektrischem Bogenlicht etwa $13\,^0/_0$ der gesammten aufgewendeten Wärme. Der Lüftungstechniker kann somit, ohne ungebührlich sicher zu rechnen, die gesammte aufgewendete Wärmemenge als frei werdende in Ansatz bringen, bei Gas, Spiritus u. s. w., infolge der schwankenden Zusammensetzung derselben, auch die zur Wasserbildung verwendete unberücksichtigt lassen. Selbstverständlich ist bei offenen Brennern hierbei vorauszusetzen, dass sich die Verbrennungsprodukte mit der Luft mischen.

Drittes Kapitel.

Grösse des Luftwechsels.

Aus der Nothwendigkeit des Luftwechsels heraus ist in erster Linie die erforderliche Grösse desselben zu bestimmen. Jede nicht berechenbare Güteverminderung der Luft kann für die Grössenbestimmung des Luftwechsels nicht in Frage kommen.

Digitized by Google

Nach dem vorigen Kapitel sind nur die Kohlensäure — und diese nur als Massstab für die Verunreinigung der Luft durch Produkte der Ausathmung, bezw. derjenigen der Beleuchtung — und die Wärme-Entwickelung für die Bestimmung des Luftwechsels geeignet.

Die Berechnung des Luftwechsels nach Massgabe eines nicht zu überschreitenden Kohlensäuregehalts ist für alle diejenigen Räume anzuwenden, in denen sich eine grössere Anzahl Menschen am Tage dauernd aufzuhalten hat (Schulen, Lehranstalten, Krankenhäuser, Gerichtssäle u. s. w.), da bei diesen ganz besonders auf einwandsfreie Luftverhältnisse Rücksicht genommen werden muss und eine Ueberwärmung so lange als die Fenster geschlossen zu halten sind, also im Winter, meist nicht zu befürchten steht.

Die Berechnung des Luftwechsels nach Massgabe einer nicht zu überschreitenden Temperatur ist hauptsächlich für Räume mit künstlicher Beleuchtung anzuwenden, in denen sich eine grosse Anzahl Menschen (also besonders am Abend) versammelt. (Theater, Konzertsäle, Versammlungsräume u. s. w.).

Die Berechnung des Luftwechsels für Räume, in denen sich nur wenige Menschen und in wechselnder Anzahl aufzuhalten haben (Wohnräume, Geschäftsräume u. s. w.) und für Räume, aus denen Gerüche zu entfernen sind (Küchen, Aborte u. s. w.), kann weder nach Kohlensäure noch Wärmeproduktion erfolgen und müssen für diese zur Zeit noch Erfahrungssätze für die Grösse des Luftwechsels in Anwendung gebracht werden.

I. Grösse des Luftwechsels unter Zugrundelegung der Kohlensäureproduktion der Menschen und der Beleuchtung.

1. Berechnung der Grösse des Luftwechsels.

Die Bestimmung der Grösse des Luftwechsels nach Massgabe eines nicht zu überschreitenden Kohlensäuregehalts ist möglich, wenn die Grenzen dieses Kohlensäuregehalts bekannt sind.

von Pettenkofer hat gefunden,*) dass sich ein Mensch bei einem Kohlensäuregehalt von 0,0007 cbm auf 1 cbm Luft dauernd wohlbefindet, dass aber ein Ansteigen des Kohlensäuregehalts auf 0,001 cbm noch als sanitär zulässig erklärt werden kann. Für die Beleuchtung sind dieselben Grenzen in Anwendung zu bringen. Da die Hygiene zur Zeit noch diese Forderung von Pettenkofer's als massgebend annimmt, so ist dieselbe der Berechnung des Luftwechsels zu Grunde zu legen. Die Berechnung ist jederzeit für Personen und Beleuchtung getrennt anzustellen und die Ergebnisse derselben zu addiren.

*) von Pettenkofer, Ueber den Luftwechsel in Wohngebäuden, München 1858.

Digitized by Google

Bezeichnet unter der Annahme, dass sich die an die Luft abgegebene Kohlensäure sofort gleichmässig im Raume vertheilt:

L die stündlich dem Raume zuzuführende Luftmenge in cbm,
J den Inhalt des Raumes in cbm,
p_1 bezw. p_2 den Kohlensäuregehalt eines cbm Luft im Raume bei Beginn der Lüftung bezw. nach z Stunden in cbm,
a den Kohlensäuregehalt eines cbm der eingeführten Luft in cbm,
n die Anzahl der Kohlensäurequellen im Raume,
k die stündliche Produktion einer Kohlensäurequelle in cbm,

so muss sein, da die Kohlensäurezunahme im Raume gleich der zugeführten vermindert um die abgeführte Kohlensäure zu setzen ist:

$$J dp = (La + nk)\, dz - Lp dz.$$

Diese Gleichung lässt sich schreiben:

$$\frac{dz}{J} = \frac{-dp}{Lp - La - nk}$$

und ergiebt, da für $z = 0$ das $p = p_1$, für $z = z$ das $p = p_2$ wird:

$$\frac{z}{J} = \frac{1}{L} ln \frac{Lp_1 - La - nk}{Lp_2 - La - nk}. \qquad (10)$$

Diese Gleichung ist für Bestimmung von L nicht ohne Weiteres zu benutzen, wohl aber ist bei gegebenem L, p_1 und p_2 die Zeit z bequem zu bestimmen, innerhalb welcher der höchste zulässige Kohlensäuregehalt p_2 eintreten wird.

Für den Beharrungszustand muss die zugeführte Kohlensäure gleich der abgeführten, d. h. da $p_1 = p_2 = p$ zu setzen ist:

$$Lp = La + nk$$

und somit:

$$L = \frac{nk}{p - a} \qquad (11)$$

sein.

Dieser Ausdruck ergiebt sich auch, wenn in der Gl. 10 der Logarithmus in eine Reihe verwandelt, nur das erste Glied derselben benutzt und alsdann die Gleichung auf L gelöst wird.

Der nach Gl. 11, d. h. für den Beharrungszustand, berechnete Luftwechsel wird immer etwas grösser sein müssen als der sich aus der Gl. 10 ergebende, da in dieser der Anfangs-Kohlensäuregehalt geringer als der End-Kohlensäuregehalt ist. Ein nennenswerther Einfluss tritt aber nur dann hervor, wenn der auf die einzelne Person entfallende Rauminhalt ein sehr bedeutender ist. Nimmt man beispielsweise mit von Pettenkofer den höchsten zulässigen Kohlensäuregehalt zu $1\,{}^0/_{00}$, ferner den Anfangs-Kohlensäuregehalt gleich demjenigen der Aussenluft zu $0{,}4\,{}^0/_{00}$ und die stündlich ab-

Digitized by Google

gegebene Kohlensäure eines Erwachsenen zu 0,02 cbm an, so ergiebt sich bei einem stündlichen Luftwechsel von 30 cbm für die Person nach Gl. 10: $z = 0{,}0767\ J$. Es müsste also, da der zulässige Kohlensäuregehalt die Grenze von $1\,^0/_{00}$ nicht überschreiten soll, ein Luftraum von 13 cbm für die Person und einer Stunde Benutzungsdauer vorhanden sein. Für den Beharrungszustand würden unabhängig vom Rauminhalt nach Gl. 11 33 cbm erforderlich sein. Es wird somit fast stets für Bestimmung der Grösse des Luftwechsels Gl. 11 in Anwendung zu kommen haben und nur in aussergewöhnlichen Fällen, d. h. bei grossen Räumen mit geringer Besetzung, wird man gut thun, mit Hilfe der Gl. 10 zu prüfen, ob der Luftwechsel eine Verringerung erfahren kann.

2. Anwendung der Berechnung der Grösse des Luftwechsels in der Praxis.

Die Anwendung der unter 1 gegebenen Berechnung muss in der Praxis in nicht seltenen Fällen insofern eine Einschränkung erfahren, als die von von Pettenkofer aufgestellte Forderung nicht durchweg erfüllt werden kann.

Die erste Bedingung der Lüftung ist die Erzielung des Luftwechsels ohne Zugerscheinungen. Bei den meisten Gebäuden ist die Anzahl und Anordnung der künstlichen Luftwege eine beschränkte und hat sich alsdann bei gewöhnlichen Bau- und Temperaturverhältnissen in der Praxis ergeben, dass ohne Zugerscheinungen hervorzurufen der stündliche Luftwechsel nicht leicht über das Fünffache des Rauminhalts gesteigert werden kann. In fast allen Lehrbüchern der Hygiene findet sich noch immer die Angabe, dass eine zugfreie Lüftung nur mit Einhaltung des nicht über das Dreifache des Rauminhalts hinausgehenden Luftwechsels hervorgerufen werden kann. Diese Angabe ist, wie Verfasser nachgewiesen hat,*) nicht zutreffend. Bei sehr vertheilter Zu- und Abströmung der Luft oder bei sehr hoher Temperatur des Raumes und der Zuluft lässt sich der Luftwechsel sogar über den fünffachen des Rauminhalts steigern, z. B. kann für die Schwitzräume der römisch-irischen Bäder ein sieben- bis achtfacher Luftwechsel unbedenklich vorgesehen werden. Infolge der Nothwendigkeit der Annahme einer bestimmten Lüftungsgrenze muss jedesmal der nach Massgabe der hygienischen Forderung berechnete Luftwechsel mit dem Inhalte des betreffenden Raumes in Vergleich gebracht werden. Beträgt der berechnete Luftwechsel mehr als der zulässige, also in der Regel fünffache des Rauminhalts, so ist entweder der Raum bei derselben Anzahl Personen grösser (höher) zu machen oder es sind andere Grundbedingungen zu schaffen.

---

*) Siehe Rietschel, Lüftung und Heizung von Schulen, Berlin 1886.

Digitized by Google

Nach dem Gesagten ist es jederzeit fehlerhaft, für bestimmt bemessene Räume einen Luftwechsel ohne Berücksichtigung des Rauminhalts vorzuschreiben.

Der Luftwechsel, der sich unter Zugrundelegung eines nicht zu überschreitenden Kohlensäuregehaltes nach der Forderung von Pettenkofer's ergiebt, ist bei nicht zu dicht besetzten Räumen nach Massgabe des fünffachen Rauminhalts meist einhaltbar, bei dichtbesetzten Räumen dagegen, wie bereits angedeutet, häufig nicht. Alsdann muss allerdings, wenn eine Vergrösserung der Räume nicht statthaft ist, ein etwas höherer Kohlensäuregehalt für zulässig erklärt werden.

Hauptsächlich wird bei Schulen die Erhöhung des zulässigen Kohlensäuregehaltes in Frage zu kommen haben, da bei diesen — besonders in grossen Städten — eine Vollbesetzung der Klassen stattfindet. Verfasser hat bei seinen zahlreichen Untersuchungen von Schulräumen gefunden, dass in diesen die Luft dem Geruchssinne nach zu urtheilen — und mit Hilfe desselben hat auch von Pettenkofer die von ihm vorgeschlagene Grenze bestimmt — durchaus zufriedenstellend war, wenn ein Kohlensäuregehalt von 1,5 $^0/_{00}$ nicht überschritten wurde. Da ausserdem wohl bei allen Schulen während der Unterrichtspausen durch Oeffnen der Fenster eine durchgreifende Lufterneuerung in den Klassenräumen vorgesehen wird, scheint eine Erhöhung der von Pettenkofer'schen Grenze um so zulässiger zu sein, als dieselbe somit nur während eines Theiles jeder Unterrichtsstunde eintreten wird. Auch die mehrfach zur Einführung gelangenden Schulbäder wirken auf das Güteverhältniss der Luft in den Klassenräumen günstig, ohne dass dasselbe durch den Kohlensäuregehalt zum Ausdruck kommt. Krankenräume und andere etwa in der gleichen Stärke besetzte Räume sind immer ohne Schwierigkeit der von Pettenkofer'schen Forderung entsprechend zu lüften. Bei Räumen, die nur vorübergehend voll besetzt sind, also nicht zu dauerndem Aufenthalte dienen (Theater, Versammlungsräume, Gastzimmer u. s. w.), hat der Kohlensäuregehalt eine untergeordnetere, jedenfalls eine viel geringere Bedeutung als die Temperatur oder auch der Tabaksrauch.

Die Hygiene wird sich daher wohl damit einverstanden erklären können, dass bei Versammlung von gesunden Menschen der Kohlensäuregehalt zeitweise bis auf 1,5 $^0/_{00}$ ansteigen darf, dass dagegen bei Kranken, Genesenden u. s. w. die Grenze von 0,7 $^0/_{00}$ unbedingt eingehalten werden soll.

II. Grösse des Luftwechsels unter Zugrundelegung einer nicht zu überschreitenden Temperatur.

1. Berechnung der Grösse des Luftwechsels.

In Räumen, in denen Menschen eine besondere körperliche Arbeit nicht verrichten, ist die der Gesundheit und dem Wohlbefinden an-

Digitized by Google

gemessenste Temperatur im Winter zu etwa 18—20° C. anzunehmen. Im Sommer wird man die Temperatur auf etwa 22—23° C. zu bemessen haben.

Bei vorübergehendem Aufenthalte kann auch im Winter eine Steigerung bis auf 23° C. für zulässig erklärt werden. In und über Beleuchtungszonen, sofern Menschen sich daselbst nicht aufzuhalten haben, sind höhere Temperaturen zu gestatten.

Bedeutet W_1 die Wärmemenge, die durch die Anwesenden, W_2 diejenige, die durch die Beleuchtung stündlich einem Raume zugeführt wird, W_3 die Wärmemenge, die stündlich von den Wänden, Fenstern u. s. w. des Raumes bei der im Raume herrschenden zulässigen Temperatur im Winter nach aussen abgegeben, im Sommer nach innen übergeführt wird, so ist die durch die Lüftung stündlich wegzuschaffende Wärmemenge:

$$W = W_1 + W_2 \mp W_3 . \qquad (12)$$

Bei W_3 gilt für den Winter das obere, für den Sommer das untere Vorzeichen. Wird W_3 im Winter durch Erwärmung der Wände (Heizungsanlage), im Sommer durch Kühlung derselben während der Benutzung ausgeglichen, so entfällt es naturgemäss für die Lüftung.

Im Beharrungszustande und bei angenommener gleichmässiger Vertheilung der Wärme im Raume muss der stündliche Luftwechsel in cbm, ausgedrückt in der zulässigen Temperatur t, gemäss Gl. 5b, betragen, wenn t' die Temperatur der eingeführten kühleren Luft bezeichnet:

$$L = \frac{W(1+\alpha t)}{0{,}306\,(t-t')} . \qquad (13)$$

(Zur bequemeren Berechnung dieses Ausdrucks dient Tabelle 5.)

Selten jedoch ist eine gleichmässige Vertheilung der Wärme im Raume anzunehmen. Gewöhnlich steigt die Temperatur mit dem Abstand vom Fussboden (s. später); in diesen Fällen ist, wenn t_m die mittlere Temperatur von derjenigen über Fussboden und derjenigen unter Decke bedeutet und die wärmere Luft unter der Decke abgeleitet wird, der Luftwechsel gegeben in der in Kopfhöhe zulässigen Temperatur t:

$$L = \frac{W(1+\alpha t)}{0{,}306\,(t_m - t')} . \qquad (14)$$

(Vergl. Tabelle 5.)

Sind die einzuhaltenden Temperaturen in den zu lüftenden Räumen verschieden und ist L_1 der Luftwechsel eines Raumes in cbm gegeben in der Temperatur t_1, L_2 derjenige in der Temperatur t_2 u. s. w., so ist die Luftmenge, die von aussen mit der Temperatur t_0 zu entnehmen ist

$$L_0 = \left(\frac{L_1}{1+\alpha t_1} + \frac{L_2}{1+\alpha t_2} + \ldots + \frac{L_n}{1+\alpha t_n}\right)(1+\alpha t_0). \qquad (15)$$

Digitized by Google

Hat nicht nur Lüftung, sondern auch gleichzeitige Erwärmung der Räume im Winter durch die einzuführende Luft stattzufinden (Luftheizung), so muss bei Einhaltung einer nicht zu überschreitenden Eintrittstemperatur der Luft (s. d.) häufig der Luftwechsel behufs genügender Erwärmung des Raumes im Winter zeitweise grösser als die Hygiene fordert, angenommen werden, d. h. wenn der Ausdruck (s. Gl. 12) $W_1 + W_2 - W_3$ negativ ist, also durch Lufteinführung nicht ein Wärmeüberschuss abgeleitet, sondern ein solcher zugeführt werden muss. Ist alsdann t' die höchste zulässige Einströmungstemperatur der Luft, so muss nach Gl. 5a der stündliche Luftwechsel in cbm ausgedrückt in t^0 betragen:

$$L = \frac{W(1 + \alpha t)}{0{,}306\,(t' - t)}, \qquad (16)$$

wobei

$$W = W_3 - W_1 - W_2$$

zu setzen ist und W die einzuführende Wärmemenge darstellt, W_1, W_2 und W_3 die Bedeutung unter II, 1 für die niedrigste Aussentemperatur haben.

Der Berechnung der Kanalquerschnitte ist dieser Luftwechsel indess nicht zu Grunde zu legen, er kommt nur für den Heizapparat in Frage. Ist ein bestimmter Luftwechsel nach hygienischer Forderung vorgeschrieben und soll zur Erwärmung der Räume Luftheizung unter Einhaltung einer nicht zu überschreitenden Eintrittstemperatur der Luft dienen, so ist auch nicht ohne Weiteres zwischen dem hygienisch nothwendig werdenden und dem nach Gl. 16 zur Erwärmung der Räume erforderlichen Luftwechsel der grössere Werth für die Berechnung der Kanalquerschnitte zu wählen, sondern es muss für diesen Zweck jederzeit der in Rechnung zu ziehende Luftwechsel nach Massgabe des im 16. Kapitel, Abschnitt II, Gesagten bestimmt werden.

2. Anwendung der Berechnung der Grösse des Luftwechsels in der Praxis.

Der Luftwechsel nach Massgabe einer nicht zu überschreitenden Temperatur ist im Winter bei Räumen ohne künstliche oder mit elektrischer Beleuchtung bezw. Gasglühlichtbeleuchtung, sofern ein Theil ihrer Wände von der Aussenluft bespült wird, fast immer zu erzielen; bei Gasbeleuchtung mittels gewöhnlicher Gasflammen sind auch im Winter meistens nur dann einigermassen zufriedenstellende Ergebnisse zu erreichen, wenn die Räume eine beträchtliche Höhe besitzen, die Anwesenden sich nicht im Bereiche der Beleuchtungszone befinden, die Beleuchtung in angemessener Entfernung von den Personen angebracht ist (da kein Luftwechsel die Belästigung durch strahlende Wärme beseitigen kann) und die warme Luft über der Beleuchtungszone möglichst kurzer Hand abgeführt wird.

Digitized by Google

In solchen Fällen ist es zweckmässig den Luftwechsel für die Menschen und die Beleuchtung getrennt zu bestimmen und auch die Anordnung der Zuluft- und Abluftkanäle ebenfalls in getrennter Weise für die Menschen und die Beleuchtung nach Massgabe der Zonen zu treffen. Die Berechnung des Luftwechsels geschieht wie angegeben, nur dass für den Raum über der Beleuchtung eine höhere zulässige Temperatur angenommen wird. Befinden sich die Anwesenden in dem Bereiche der Luft einer Gasbeleuchtung, so muss auf Einhaltung einer behaglichen Temperatur verzichtet werden.

Im Sommer oder wenn der zu lüftende Raum von warmen Räumen eingeschlossen wird, ist die Einhaltung der äusseren oder einer niedrigeren Temperatur nur mittels Kühlanlagen und auch dann nur bedingt zu erzielen.

III. Grösse des Luftwechsels unter Zugrundelegung von Erfahrungssätzen.

Wie bereits erwähnt, setzt die unter I und II angegebene Berechnung des Luftwechsels häufig und gleichmässig wiederkehrende Verhältnisse und vor allem die Bekanntschaft der Benutzung der Räume in Bezug auf Anzahl der Personen voraus. Sofern Angaben nach dieser Richtung nicht gemacht werden können, müssen Erfahrungssätze angewendet werden. Gewöhnlich drückt man dann den stündlichen Luftwechsel im Vielfachen des Rauminhaltes aus.

In der Regel wird ein einmaliger Luftwechsel bei Räumen mit geringer Besetzung ausreichen, ein grösserer Luftwechsel mit Steigerung der Benutzung einzutreten haben. Bei Räumen, in denen sich Gerüche entwickeln, ist eine Steigerung des Luftwechsels auf das Vier- bis Fünffache des Rauminhalts anzustreben.

IV. Zusammenstellung der Ergebnisse für Bestimmung der Grösse des Luftwechsels.

1. Annahme des Luftwechsels für Räume, die keine oder nur eine über das gewöhnliche Mafs nicht hinausgehende elektrische bezw. Gasglühlicht-Beleuchtung besitzen.

Auf Grund der in Abschnitt I—III mitgetheilten Erörterungen kann folgende Zusammenstellung Benutzung finden.

	Geringster stündlicher Luftwechsel	Grösster stündlicher Luftwechsel
Krankenräume für Erwachsene . . .	75 cbm	75 cbm
„ „ Kinder	35 „	35 „
Schulräume:		
für Kinder im Alter bis zu 10 Jahren	10 „	17 „
„ „ „ „ über 10 Jahre .	15 „	25 „

Digitized by Google

	Geringster stündlicher Luftwechsel	Grösster Luftwechsel
Aufenthaltsräume für Erwachsene:		
bei bestimmter Anzahl der Anwesenden	20 cbm	35 cbm
bei unbestimmter Anzahl der Anwesenden	1 facher des Rauminhalts	2 facher des Rauminhalts
Treppenhäuser, Korridore u. s. w.:		
bei starker Benutzung	3 „ „ „	4 „ „ „
„ geringer Benutzung	$^1/_2$ „ „ „	1 „ „ „
Küchen und Aborte	3 „ „ „	5 „ „ „

Die vorstehende Zusammenstellung ist für Räume einer bestimmten Anzahl Personen auf Grund der auf S. 8 für die Praxis angenommenen stündlichen Kohlensäure-Entwickelung und unter der Voraussetzung gemacht worden, dass bezüglich des höchsten zulässigen Kohlensäuregehaltes für Krankenräume die von Pettenkofersche Forderung von 0,7 $^0/_{00}$ eingehalten werden muss, für Gesunde dagegen die Grenzen zwischen 1 $^0/_{00}$ und 1,5 $^0/_{00}$ liegen können. Naturgemäss ist jederzeit der grösste Luftwechsel, selbst über das angegebene Maſs hinaus, anzustreben und nur dann, wenn eine zugfreie Lüftung mit demselben nicht möglich erscheint (s. das darüber Gesagte), der geringere Luftwechsel in Ansatz zu bringen.

2. Annahme des Luftwechsels für Räume, in denen eine bestimmte Temperatur nicht überschritten werden soll, sowie für solche, die durch die einzuführende Luft gleichzeitig erwärmt werden müssen.

Die Grösse des Luftwechsels muss hier in jedem einzelnen Falle wie angegeben berechnet werden. Sollte — was jedoch nur selten eintreten wird — das hierdurch gefundene Ergebniss kleinere Werthe liefern, als die obige unter 1 gegebene Aufstellung enthält, so ist letztere auch in diesem Falle für die Bestimmung des erforderlichen Luftwechsels zu Grunde zu legen.

Für die Bestimmung des Luftwechsels nach Massgabe eines nicht zu überschreitenden Kohlensäuregehalts bezw. einer nicht zu überschreitenden Temperatur sind die Tabellen 4 bezw. 5 zu benutzen.

V. Beispiele für Bestimmung der Grösse des Luftwechsels.

Aufgabe.

Es ist ein Saal zu lüften, dessen Länge 25 m, Breite 14 m, Höhe 10 m, dessen Rauminhalt somit 3500 cbm beträgt und in dem sich 400 Personen versammeln. Die Grösse des stündlichen Luftwechsels soll

Digitized by Google

1. nach Massgabe eines nicht zu überschreitenden Kohlensäuregehalts von $1\,^0/_{00}$,
2. nach Massgabe einer nicht zu überschreitenden Temperatur von 23°

bestimmt werden.

Die Berechnung für Fall 1 und 2 ist sowohl nur unter Annahme von Tagesbeleuchtung, als unter Annahme von Gasbeleuchtung anzustellen.

Die weiteren für die Berechnung massgebenden Bedingungen werden bei den verschiedenen Lösungen angegeben.

Lösung der Aufgaben.

1. Bestimmung des stündlichen Luftwechsels nach Massgabe eines nicht zu überschreitenden Kohlensäuregehalts von $1\,^0/_{00}$.

a) Benutzung des Saales nur am Tage. Der erforderliche Luftwechsel beträgt nach Gl. 11, da $n = 400$, $k = 0{,}02$ (s. S. 8), $p = 0{,}001$, $a = 0{,}0004$ zu setzen ist (der Werth von $\frac{k}{p-a}$ kann auch der Tabelle 4 entnommen werden):

$$L = \frac{400 \cdot 0{,}02}{0{,}001 - 0{,}0004} = 13333 \text{ cbm}.$$

Der Inhalt des Saales beträgt 3500 cbm, der erforderliche Luftwechsel ist somit einhaltbar, da derselbe nur das $\frac{13333}{3500} = 3{,}8$ fache des Rauminhalts ausmacht.

b) Benutzung des Saales bei Gasbeleuchtung. *α*) Beleuchtung durch Gasglühlicht. Die Beleuchtung soll durch zwei unterhalb der Decke befindliche Kronen erfolgen. Der Gasverbrauch sei 2,8 cbm, daher ist die Kohlensäure-Entwickelung (s. S. 9) 1,6 cbm von $0^0 = 1{,}6\ (1 + 0{,}0037 \cdot 23) = 1{,}74$ cbm von 23°. (Der Ausdehnungskoefficient der Kohlensäure ist 0,0037.)

Der stündliche Luftwechsel für die Menschen bleibt wie unter a) 13333 cbm, der stündliche Luftwechsel für die Beleuchtung ergiebt sich zu:

$$L_1 = \frac{1{,}74}{0{,}0001 - 0{,}0004} = 2900 \text{ cbm}.$$

Der Gesammtluftwechsel hat somit eine Grösse, die dem $\frac{13333 + 2900}{3500} = 4{,}6$ fachen Rauminhalt gleichkommt — ist also ebenfalls einhaltbar.

β) Beleuchtung durch Argandbrenner. Der Gasverbrauch ist bei gleicher Lichtstärke wie unter *α*) 14 cbm, daher ist die Kohlensäure-Entwickelung, da nach S. 9 auf 1 cbm 0,57 Kohlensäure zu rechnen ist: $14 \cdot 0{,}57 = 7{,}98$ cbm von $0^0 = 7{,}98\,(1 + 0{,}0037 \cdot 23) = 8{,}66$ cbm von 23°.

Der stündliche Luftwechsel für die Menschen bleibt wie unter a) = 13333 cbm. Der stündliche Luftwechsel für die Beleuchtung muss nach Gl. 11 sein:

$$L_1 = \frac{8{,}66}{0{,}001 - 0{,}0004} = 14432 \text{ cbm}.$$

Der Gesammtluftwechsel müsste somit das $\frac{13333 + 14432}{3500} \sim 7{,}9$ fache des Rauminhalts betragen, ist also nicht angängig, da der grösste Luftwechsel $3500 \times 5 = 17500$ cbm nicht übersteigen darf. Wird letzterer zu Grunde gelegt und gleichmässige Vertheilung der Kohlensäure im Raume angenommen, so wird jedes Kubikmeter Raumluft:

$$\frac{400 \cdot 0{,}02 + 8{,}66}{17500} + 0{,}0004 = 0{,}00135 \text{ cbm}$$

Digitized by Google

enthalten. Auf die Beleuchtung allein entfiele dann allerdings für jedes Kubikmeter Rauminhalt eine Kohlensäuremenge von:

$$\frac{8{,}66}{17500 - 13333} + 0{,}0004 \sim 0{,}003 \text{ cbm.}$$

Da in Wirklichkeit die Voraussetzung gleichmässiger Vertheilung der Kohlensäure im Saale nicht eintreten wird, insofern bei Anordnung eines wirksamen Deckenabzugs durch diesen fast kurzer Hand die von der Beleuchtung herrührende Kohlensäure entweicht, so ist gegen die Ausführung der Anlage auch vom hygienischen Standpunkte kein Bedenken zu erheben.

2. Bestimmung des stündlichen Luftwechsels nach Massgabe einer nicht zu überschreitenden Temperatur von 23°.

a) Benutzung des Saales nur am Tage. Es sei die Aussentemperatur gleich der Innentemperatur = 23°, die niedrigste durch eine Kühlungsanlage gesicherte Einströmungstemperatur der Luft 17°, die Temperatur unter der Decke (s. später) bei voller Besetzung des Saales 28°, die mittlere Temperatur zwischen Fussboden und Decke somit $\frac{23 + 28}{2} = 25{,}5°$. Für die Gl. 12 ist somit

$$W_1 \text{ (nach Gl. 9)} = 6\,(37 - 23)\,400 = 33600,\ W_2 = 0,\ W_3 = 0$$

zu setzen, also $W = 33600$. Der erforderliche Luftwechsel im Saale stellt sich nach Gl. 13 zu:

$$L = \frac{33600\,(1 + \alpha 23)}{0{,}306\,(25{,}5 - 17)} = 14003 \text{ cbm von } 23°.$$

Dieser Luftwechsel ist einzuhalten.

Einzuführen sind in den Saal:

$$L' = \frac{14003\,(1 + \alpha 17)}{1 + \alpha 23} = 13719 \text{ cbm von } 17°,$$

aus dem Saale sind von der Decke aus zu entfernen:

$$L'' = \frac{14003\,(1 + \alpha 28)}{1 + \alpha 23} = 14248 \text{ cbm von } 28°.$$

b) Benutzung des Saales bei Gasbeleuchtung. α) Beleuchtung durch Gasglühlicht. Gasverbrauch wie unter 1, b, α: 2,8 cbm. Wärme-Entwickelung (s. S. 10) $2{,}8 \cdot 5000 = 14000$ *WE*. Abzuführende Wärmemenge somit nach Gl. 12: $W = 33600 + 14000 = 47600$ *WE*. Die mittlere Temperatur im Saale ist etwas höher, als ohne Beleuchtung anzunehmen; sie möge zu 27°, die Deckentemperatur somit zu 31° gestattet sein. Dann muss der Luftwechsel im Saale betragen:

$$L = \frac{47600\,(1 + \alpha 23)}{0{,}306\,(27 - 17)} = 16862 \text{ cbm von } 23°.$$

Dieser Luftwechsel ist einhaltbar.

Einzuführen in den Saal sind:

$$L' = \frac{16862\,(1 + \alpha 17)}{1 + \alpha 23} = 16520 \text{ cbm von } 17°,$$

aus dem Saale sind von der Decke aus zu entfernen:

$$L'' = \frac{16862\,(1 + \alpha 31)}{1 + \alpha 23} = 17329 \text{ cbm von } 31°.$$

β) Beleuchtung durch gewöhnliche Gasbrenner. Gasverbrauch wie unter 1, b, β: 14 cbm. Wärme-Entwickelung nach Massgabe der Gasbeschaffen-

Digitized by Google

heit (s. S. 10) $14 \cdot 5000 = 70000$ *WE*. Die gesammte aus dem Saale abzuführende Wärmemenge beträgt somit $33600 + 70000 = 103600$ *WE*.

Es sind 2 Zonen, eine Menschen- und eine Beleuchtungszone, anzunehmen und jede für sich zu behandeln.

Angenommen werde, dass die Flammen bis 4 m von der Decke herabreichen, dann hat die Menschenzone eine Höhe von $10 - 4 = 6$ m, die Beleuchtungszone eine solche von 4 m. Die mittlere Temperatur in der Menschenzone ist dann anzunehmen zu etwa $\frac{23 + 25}{2} = 24°$, die mittlere Temperatur in der Beleuchtungszone kann gewählt werden, der Wahl entsprechend hat die Grösse des Luftwechsels zu sein. Die untere Grenze der Beleuchtungszone ist die obere der Menschenzone, letztere ist zu 25° angenommen worden. Unter der Decke möge eine Temperatur von 35° gestattet sein, somit stellt sich die mittlere Temperatur der Beleuchtungszone zu $\frac{25 + 35}{2} = 30°$.

Der Rauminhalt der Menschenzone beträgt $25 \times 14 \times 6 = 2100$ cbm, der grösste zulässige Luftwechsel bezogen auf Kopfhöhe daher $2100 \times 5 = 10500$ cbm von 23°. Es ist somit möglich, stündlich an Wärmemenge aus der Menschenzone von der Decke aus fortzuschaffen:

$$W = \frac{0{,}306\,(24 - 17)\,10500}{1 + \alpha 23} = 20748 \text{ } WE.$$

Es sollen 33600 *WE* fortgeschafft werden, folglich bleibt ein Rest von $33600 - 20748 = 12852$ *WE*, der durch die Umschliessungswände nach aussen übertragen werden muss. Es setzt dies voraus, dass die äussere Temperatur niedriger als zu 23° anzunehmen ist. Es möge der Saal an einer Längsseite und zwei Schmalseiten frei liegen, der Fussboden an den darunter liegenden Raum 1000 *WE*, die Decke an den darüber liegenden Raum 1600 *WE* abgeben und die Wärmeübertragung der Wände und Fenster nach aussen für jeden Grad Temperaturunterschied zwischen innen und aussen in der Menschenzone 600, in der Beleuchtungszone 250 *WE* betragen, so ist die vorgeschriebene Temperatur in Kopfhöhe zu erreichen, wenn die Aussentemperatur:

$$24 - \frac{12852 - 1000}{600} \sim 4°$$

beträgt. Es sei hierbei der Beharrungszustand vorausgesetzt, d. h. dass die Umschliessungsflächen die von der Saalluft empfangende Wärme nach aussen abgeben.

Für die Beleuchtungszone stellt sich unter Berücksichtigung einer Aussentemperatur von 4° die abzuführende Wärmemenge zu

$$70000 - \{1600 + 250\,(30 - 4)\} = 64400 \text{ } WE,$$

was einen Luftwechsel von

$$L_1 = \frac{64400\,(1 + \alpha 30)}{0{,}306\,(30 - 17)} = 17970 \text{ cbm}$$

bedingt. Der Rauminhalt der Beleuchtungszone ist $25 \times 14 \times 4 = 1400$ cbm, es macht sich somit ein $\frac{17970}{1400} = 12{,}8$ facher Luftwechsel nöthig.

Ob die Einhaltung dieses Luftwechsels in der Beleuchtungszone bei geschickter Anordnung und Vertheilung der Zu- und Abluftkanäle, die naturgemäss von den Kanälen für die Menschenzone unabhängig sein müssen, möglich ist, muss unter Berücksichtigung der baulichen Verhältnisse Beurtheilung erfahren; schwierig ist eine zufriedenstellende Lösung jedenfalls, in den meisten Fällen nicht möglich, unmöglich jederzeit, wenn in der Beleuchtungszone sich ebenfalls noch Menschen aufhalten sollen. Besserung der Verhältnisse wird eintreten, d. h. ein geringerer Luftwechsel zu erzielen sein, wenn die Verbrennungsprodukte kurzer Hand abgeführt werden, so dass sich die mittlere Temperatur in der Beleuchtungszone niedriger stellt.

Digitized by Google

Viertes Kapitel.

Erzielung des Luftwechsels.

Jeder Luftwechsel bedingt Zu- und Ableitung von Luft, d. h., da durch die Lüftung möglichst reine Luft im Raume erhalten werden soll, Zuleitung reiner und Ableitung verbrauchter Luft. Luftwechsel erfordert Luftbewegung, Luftbewegung Störung des Gleichgewichts. Die Innenluft steht mit der Aussenluft im Gleichgewichte bei gleichen Druckverhältnissen. Das Gleichgewicht kann gestört werden entweder durch Verminderung oder durch Vermehrung des Druckes der inneren oder äusseren Luftsäule. Verminderung des Druckes der inneren Luftsäule wird erreicht durch Erwärmen, Vermehrung durch Abkühlen; Verminderung des Druckes der äusseren Luftsäule wird mittelbar auch erzielt durch Absaugen der inneren Luft, Vermehrung durch Einpressen der äusseren Luft.

Druckverhältnisse in einem geschlossenen Raume (Neutrale Zone).*) Ist ein Raum *A B C D* (Fig. 1) vollständig fest geschlossen,

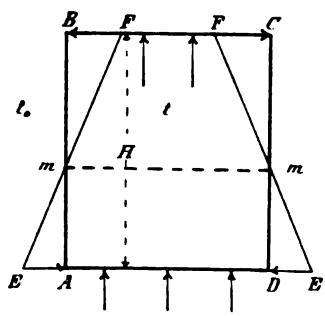


Fig. 1.

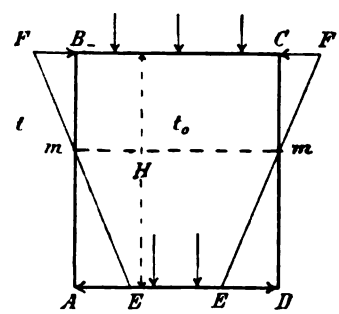


Fig. 2.

von undurchdringlichem Materiale gebildet, so wächst bei Steigerung der Temperatur die Spannung der Luft, somit auch der innere Druck; es herrscht jedoch auf jeder Flächeneinheit der gleiche Ueberdruck von innen nach aussen. Verbindet man an einer Stelle *m* durch eine Oeffnung die Innen- mit der Aussenluft, so wird zunächst entsprechend der Spannung eine bestimmte Menge Luft ausströmen, alsdann aber an dieser Stelle wieder Gleichgewicht zwischen Druck und Gegendruck sich einstellen. Von der Oeffnung nimmt ausserhalb des Raumes nach abwärts gerechnet der Druck der Luft infolge ihrer ge-

*) Siehe Recknagel, Lüftung des Hauses, erster Theil, zweite Abtheil., 4. Heft des Handbuchs der Hygiene von von Pettenkofer und von Ziemssen, Leipzig 1894.

Digitized by Google

ringeren Temperatur, also grösseren Dichte, schneller zu als innerhalb des Raumes, und es wird somit ein Ueberdruck von aussen nach innen eintreten, der mit der Entfernung von der Oeffnung *m* wächst. Das Umgekehrte findet über der Oeffnung statt, d. h. mit der Entfernung von der Oeffnung nach oben gerichtet, tritt eine Druckzunahme von innen nach aussen ein.

Die Grösse der Druckunterschiede an jeder Stelle hängt von der Grösse des Unterschieds zwischen der inneren und äusseren Temperatur und von der senkrechten Entfernung von der Oeffnung *m* ab und wird in Fig. 1 durch die Länge der horizontalen Pfeile gekennzeichnet. Die Begrenzungslinie *EF* dieser Pfeile ist eigentlich eine logarithmische Kurve, indessen bei der verhältnissmässig geringen Höhe selbst der grössten unserer Gebäude gegenüber der Höhe der Atmosphäre kann die Begrenzungslinie als einfache Grade angenommen werden. Die Grade *EF* zeigt somit den Verlauf der Druckverhältnisse in dem Raume *ABCD* bei höherer Innen- als Aussentemperatur.

Bei Verminderung der Innentemperatur nähert sich die Grade der Begrenzungsfläche *AB* bezw. *CD* und überschreitet diese unter Beibehaltung des Drehpunkts *m*, also in umgekehrter Richtung bei Eintritt einer niedrigeren Innen- als Aussentemperatur. Selbstverständlich ist in der Horizontalebene der Oeffnungen *m m* überall Gleichgewicht mit der Aussenluft vorhanden und kann man somit diese Horizontalebene als die „neutrale Zone“ des Raumes bezeichnen. Diese neutrale Zone lässt sich durch Verlegen der Oeffnung *m* oder durch eine künstliche Steigerung bezw. Verminderung der Spannung im Raume in jede beliebige Lage bringen.

Verlegt man die Oeffnung *m* in die Nähe des Fussbodens des Raumes, so stellt sich hier die neutrale Zone ein, bringt man aber gleichzeitig auch in der Nähe der Decke des Raumes eine zweite gleich grosse Oeffnung an, so stellt sich die neutrale Zone in die Mitte des senkrechten Abstandes der beiden Oeffnungen. Da nunmehr bei höherer Innen- als Aussentemperatur auf die untere Oeffnung ein Ueberdruck von aussen nach innen, auf die obere Oeffnung ein Ueberdruck von innen nach aussen stattfindet, so wird durch die untere Oeffnung Luft in den Raum einströmen, durch die obere Oeffnung Luft ausströmen. So lange somit ein Temperaturunterschied zwischen innen und aussen vorhanden ist, wird auch ein Luftwechsel in dem Raume stattfinden.

Sind die Oeffnungen über Fussboden und unter der Decke des Raumes nicht gleich gross, so erfährt die Luft bei dem Durchgange durch die grössere Oeffnung einen geringeren Widerstand als bei dem Durchgange durch die kleinere Oeffnung, infolgedessen entfernt sich die neutrale Zone aus der Mittellage und nähert sich der grösseren Oeffnung. Die Widerstände für die Luftbewegung kann man auch

Digitized by Google

statt durch Verkleinerung der Oeffnungen durch Anschliessen von Kanälen steigern. Ist bei gleich grossen Oeffnungen an die eine ein längerer, an die andere ein kürzerer Kanal angeschlossen, so wird ebenfalls die neutrale Zone die Mitteliage verlassen und der Oeffnung mit dem kürzeren Kanale sich nähern.

Das bisher Gesagte galt alles nur unter Annahme des Vorhandenseins eines dichten Raumes. Sind die Wände des Raumes von einem durchlässigen Materiale gebildet, so wird, sofern die Durchlässigkeit eine gleichmässige ist, die neutrale Zone sich ebenfalls in die Mitte des Raumes stellen. Infolge des Ueberdrucks von aussen bezw. von innen wird, wie bei dem vorigen Falle, durch die Oeffnungen, jetzt durch die durchlässigen Wandungen, ein Luftwechsel stattfinden, und nimmt derselbe ebenfalls mit der Entfernung von der neutralen Zone zu.

Bringt man bei einem derartigen Raume nun auch über Fussboden und unter der Decke eine Oeffnung an, so wird ebenfalls nach der Grösse der Widerstände, die der Luftbewegung in den Oeffnungen entgegenstehen, die neutrale Zone sich aus der Mittellage des Raumes entfernen. Die Einstellung der neutralen Zone hängt aber nun sowohl von der Lage der beiden Oeffnungen und deren Widerständen als auch von der Durchlässigkeit des Materials, aus dem die Wände gebildet sind, ab.

Besteht daher bei einer Lüftungsanlage der Wunsch, die neutrale Zone einer bestimmten Stelle im Raume zu nähern, so hat man für möglichst undurchlässige Umfassungswände des Raumes Sorge zu tragen.

Die Gesetze für Bildung und Lage der neutralen Zone, die Recknagel zuerst behandelt hat, sind für die richtige Wahl und Ausführung der Lüftungsanlage ausschlaggebend (s. später).

Die Druckverhältnisse in einem geschlossenen Raume lassen sich berechnen, sofern die Lage der neutralen Zone bekannt ist.

Bezeichnet:

H die Höhe des Raumes,
h die Lage der neutralen Zone über Fussboden,
t die Innentemperatur,
t_0 die Aussentemperatur,

so ist nach dem Gesagten der Ueberdruck in kg/qm von aussen nach innen in einer Entfernung von n Meter vom Fussboden

$$P = 1{,}293\,(h-n)\left(\frac{1}{1+\alpha t_0} - \frac{1}{1+\alpha t}\right). \qquad (17)$$

Ergiebt sich P negativ, was eintreten wird, wenn $h < n$ oder $t < t_0$ ist, so herrscht an dieser Stelle Ueberdruck nicht von aussen nach innen, sondern von innen nach aussen.

Digitized by Google

I. Natürliche Lüftung.

Infolge der Durchlässigkeit der meisten Baumaterialien, besonders aber infolge der nie zu vermeidenden Undichtheiten in den Fugen, vor allem der Thür- und Fensterverschlüsse, herrscht in fast allen Räumen bei verschiedener Innen- und Aussentemperatur Luftwechsel — sogenannte „natürliche Lüftung".

Die Grösse des Luftwechsels durch eine Wand lässt sich bei Kenntniss der Durchlässigkeit des Materials nach Massgabe des über die neutrale Zone Gesagten berechnen.

Die Durchlässigkeit der Baumaterialien ist hauptsächlich von Lang und Gosebruch*) untersucht worden. Die von dem ersteren angestellten Versuche sind allerdings Laboratoriumsversuche und gestatten für die Wirklichkeit nicht unmittelbare Anwendung, zumal da die Einwirkung der durch die Verbindung der Baumaterialien entstehenden Fugen Berücksichtigung nicht gefunden hat. Die Luftmenge, die in der Zeiteinheit durch eine Wand hindurchgeht, ist nach Lang proportional der Fläche, dem Unterschiede zwischen dem Drucke auf der einen und anderen Seite und einer Durchlässigkeitskonstanten; umgekehrt proportional der Stärke der Wand zu setzen.

Bedeutet also:

L die durch eine Wand stündlich hindurchfliessende Luftmenge in cbm,
F die Fläche der Wand in qm,
e die Stärke der Wand in m,
$p - p_0$ den Unterschied zwischen dem Drucke auf der einen und der anderen Seite der Wand in kg/qm,
c die Durchlässigkeitskonstante, d. h. die Luftmenge, die in einer Stunde bei einem Druckunterschiede von 1 kg/qm durch eine Wand von 1 qm Oberfläche und 1 m Stärke hindurchgeht,

so ist:

$$L = \frac{Fc(p - p_0)}{e}.$$

Im Mittel ist für c nach den Versuchen von Lang zu setzen bei:

Bruchstein	0,000124,
Ziegel	0,000201,
Klinker, glasirt	0,000000,
„ unglasirt	0,000145,
Luftmörtel	0,000007,
Beton	0,000258,

*) Siehe Litteraturverzeichniss.

Digitized by Google

Portland-Cement 0,000137,
Gips, gegossen 0,000041,
Eichenholz über Hirn . . . 0,000007,
Fichtenholz „ „ . . . 0,001010.

Aus den Werthen für *c* geht hervor, dass der Luftwechsel durch die Baumaterialien sehr gering ist. Der Luftwechsel wird noch durch Tapete oder Anstrich bedeutend vermindert, auch von der Feuchtigkeit der Wand wesentlich beeinflusst. Da in gewöhnlichen Wohnräumen ein stündlicher Luftwechsel bis zur Grösse des Rauminhalts beobachtet worden ist, so ist dieser hauptsächlich den zufälligen Undichtheiten, weniger der Durchlässigkeit der Baumaterialien zuzuschreiben. Da ausserdem der Luftwechsel von Witterungseinflüssen, besonders vom Wind abhängig zu machen, also sehr schwankend und im Hinblick auf die Forderungen der Hygiene meist unzureichend ist, so soll auf die natürliche Lüftung nicht weiter eingegangen werden. Zweck einer jeden Lüftungsanlage bildet die Erzielung eines unter bestimmten Verhältnissen geforderten Luftwechsels.

Immerhin ist die natürliche Lüftung von grösster Bedeutung für alle diejenigen Räume, die einer Lüftungsanlage entbehren, und ist daher bei diesen möglichst zu vermeiden, die Durchlässigkeit der Wände und die zufälligen Undichtheiten absichtlich so weit als möglich aufzuheben. Wollte man in der Praxis dichte Räume, z. B. aus Eisenwänden, mit dicht schliessenden Fenstern und Thüren errichten, so würden die Einwohner die schwerste Schädigung ihrer Gesundheit, bei längerem Aufenhalte in den Räumen unweigerlich den Tod erfahren. Bei Lüftungsanlagen muss dagegen das Bestreben auf möglichste Dichtheit der Räume gerichtet sein, und ist daher in jedem Falle die Kenntniss der Durchlässigkeit der verschiedenen Baumaterialien und der Mittel für die Verminderung der Durchlässigkeit von Bedeutung. Die Durchlässigkeit der Baumaterialien vermindert sich (n. Lang) in folgender Reihenfolge:

Kalkstein,
Fichtenholz über Hirn (Faserrichtung),
Luftmörtel,
Beton,
stark gebrannte Handziegel,
Klinker (Verblendsteine) unglasirt,
Portland-Cement,
Sandstein,
schwach gebrannte Handziegel,
Eichenholz (Faserrichtung),
Gips (gegossen),
glasirte Klinker (undurchlässig).

Die Reihenfolge der Verminderung der Durchlässigkeit durch die Wandbekleidung ist folgende:

Digitized by Google

Anstrich von Kalkfarbe,
Anstrich von Leimfarbe,
Oelfarbenanstrich (neu undurchlässig),
Wasserglas (mit der Zeit undurchlässig).

Erfüllung mit Wasser vermindert die Durchlässigkeit bei:

Sandstein und Ziegel um etwa 80 %,
Luftmörtel um etwa 93 %,
Beton und Cement um 100 %.

II. Künstliche (absichtliche) Lüftung.

Unter den Begriff der künstlichen oder absichtlichen Lüftung fallen alle Anlagen, bei denen besondere Wege (Kanäle) für Leitung der Luft vorgesehen werden. Unter dem Ausdrucke: „Lüftungsanlage" wird im Folgenden stets eine Anlage mit künstlicher Lüftung verstanden.

1. Allgemeine Anordnung und Eintheilung der Lüftungsanlagen.

a) Zuleitung reiner Luft. Die einfachste Anordnung derselben besteht in einer unmittelbaren Verbindung des zu lüftenden Raumes mit der Aussenluft. Dieselbe ist nicht zu empfehlen, da im Winter Zugerscheinungen unausbleiblich sind, Staub in die Räume eindringt, Wind, Regen und Schnee störende Einflüsse geltend machen und bezüglich der Entnahmestellen der Luft freie Wahl nicht möglich ist.

Zugerscheinungen lassen sich vermindern, unter Umständen auch ganz beseitigen, sofern die Luft vor Eintritt in den Raum an dem Heizkörper desselben vorübergeführt, also vorgewärmt wird. Regen und Schnee lassen sich abhalten durch geeigneten Schutz der äusseren Entnahmeöffnung für die Luft, Einflüsse des Windes sind nicht, auch bei Anwendung von Klappen, Schiebern u. s. w. nur in ungenügendem Maſse zu beseitigen, höchst selten auch der Eintritt von Staub, da Filtervorrichtungen in entsprechender Grösse meist nicht angebracht werden können und sich rasch verstopfen. Steht der Heizkörper entfernt von der äusseren Entnahmestelle, so dienen horizontale Kanäle in, über oder unter dem Fussboden für Zuführung der Luft nach dem Heizkörper und Ablagerung eines Theiles des Staubes, doch ist diese Anordnung vom hygienischen Standpunkte niemals zu empfehlen, selbst wenn die Kanäle genügend reinigungsfähig hergestellt werden. Nur in Nothfällen soll man zu derartigen Einrichtungen greifen.

Besser ist schon die mittelbare Einführung frischer Luft, d. h. durch einen anderen grösseren Raum, z. B. Korridor, Flur u. s. w. hindurch, in den frische Luft von aussen eintritt. Es setzt diese An-

Digitized by Google

ordnung die geringe Benutzung des betreffenden Raumes, auch die Gestattung von Schallübertragungen voraus. Anwendung kann die Anordnung der Einfachheit halber mitunter finden, sofern die Luft vor Eintritt in den Vorraum am Heizkörper desselben vorgewärmt wird und unter oder über den Heizkörpern in die zu lüftenden Räume tritt.

Zweckmässiger ist es, die in die Vorräume verschiedener Stockwerke tretende Luft an gemeinsamer Stelle in einem tiefer gelegenen Stockwerke zu erwärmen; eine derartige Anlage kann unter Umständen Empfehlung verdienen.

Die vollkommenste Zuluftanlage ist diejenige, bei der zunächst gemeinsame Entnahme der Luft und Vorwärmung derselben an einem Heizapparate innerhalb eines besonderen in einem möglichst tief liegenden Stockwerke (Keller) befindlichen Raumes (Heizkammer) erfolgt und alsdann entweder unmittelbar von der Heizkammer oder erst nach Vertheilung durch einen horizontalen Vertheilungskanal, Zuführung nach den einzelnen Räumen in getrennten aufsteigenden Kanälen stattfindet. Es ist dann möglich, die meisten der vorgenannten Uebelstände zu vermeiden und in gesicherter Weise den erforderlichen Luftwechsel zu erzielen.

Lüftung der Gebäude, bei der Ventilatoren die Bewegung der Luft veranlassen oder unterstützen, belegt man in der Praxis mit dem Namen: „Pulsions-“ oder „Drucklüftung“.

b) Ableitung verbrauchter Luft. Die einfachste Anordnung besteht wie bei der Zuleitung in einer unmittelbaren Verbindung des zu lüftenden Raumes mit der Aussenluft, doch kann sie ebensowenig wie diese, da die Wirkung eine ganz wechselnde und zum grössten Theile negative ist, empfohlen werden. Ableitung nach einem Nebenraume, Korridor u. s. w., wenn dieser mit der Aussenluft unmittelbar in Verbindung steht, ist nicht viel besser; nur sofern eine gesicherte Ableitung aus dem Nebenraume erfolgt, kann die Anordnung in manchen Fällen, d. h. wenn die Sammlung verbrauchter Luft im Nebenraume statthaft ist und Schallübertragungen nicht störend wirken, zweckmässig erscheinen.

Als die beste Anlage muss diejenige bezeichnet werden, bei der die verbrauchte Luft durch besondere Kanäle in sicherer Weise nach aussen abgeleitet wird.

Lüftung der Gebäude, bei der die Abluft zur Sicherung des Effekts noch eine besondere Erwärmung erfährt, bezw. bei der ein Ventilator (Exhaustor) Verwendung findet, bezeichnet man mit dem Namen „Aspirations-“ oder „Saugelüftung“ und zwar unter „Erwärmung der Abluft“ bezw. „unter Anwendung von Exhaustoren“.

Digitized by Google

Fünftes Kapitel.

Anordnung, Ausführung und Bestimmung der einzelnen Theile bezw. Grössen einer Lüftungsanlage.

I. Entnahme der frischen Luft.

(Siehe Tafel II.)

Dieselbe hat an einer vor Wind, Staub, Rauch und Russ möglichst geschützten Stelle zu erfolgen; die Schöpfstelle braucht nicht unmittelbar über Terrain zu liegen, sondern kann auch in irgend einer Höhe des Gebäudes sich befinden. Erwägungen über die beste Anordnung, die unter Berücksichtigung der Vermeidung aller störenden Einflüsse und der Erzielung reinster Luft zu erfolgen hat, können nicht allgemein erledigt werden, sie sind von Fall zu Fall anzustellen.

Zweckmässig ist es, zwei in entgegengesetzter Richtung liegende Entnahmestellen anzunehmen, um den Einflüssen des Windes durch Benutzung der einen oder der anderen nach Möglichkeit vorbeugen zu können. Die Oeffnung für die eintretende Luft ist vor Eintritt von Regen und Schnee in geeigneter Weise zu schützen, zum Fernhalten von Blättern, Thieren u. s. w. mit Gitterwerk zu versehen. Um bei gewünschter Unterbrechung der Lüftung der Staublagerung in den Kanälen vorzubeugen und eine gemeinsame Regelung des Lufteintritts zu besitzen, erscheint es meist zweckmässig, unmittelbar hinter der Entnahmestelle entsprechende Vorrichtungen (Schieber, Klappe u. s. w.) anzuordnen.

II. Reinigung der Luft.

(Siehe Tafel II.)

Wenngleich auch Staub durch die Fensterfugen in die Räume eintritt und durch die Besucher (Schuhwerk, Kleidung) eingeführt wird, ist ein Reinigen der Luft nach der Entnahme von aussen stets wünschenswerth. Ausser der Annehmlichkeit über möglichst staubfreie Zuluft zu verfügen, muss nach Fodor die Nützlichkeit des Reinigens in der Reinheit der Luft bei der Berührung mit den heissen Flächen des zur Erwärmung der Luft bestimmten Heizkörpers erblickt werden. Bei 100° Temperatur der Heizflächen bewirken diese ein Freiwerden von Riechstoffen, bei 150° eine trockene Destillation bezw.

Digitized by Google

Verbrennen der organischen Staubtheile der Luft;*) die hierdurch der Luft zugeführten Produkte reizen die Athmungsorgane und erwecken in denselben leicht das Gefühl von Trockenheit. Die Klagen bei Lüftungs- und Luftheizungsanlagen über Trockenheit der Luft sollen häufig auf die vorstehend erwähnten Ursachen zurückgeführt werden können.

Es ist zwar eine bekannte Thatsache, dass nach längerer Unterbrechung des Betriebes eines Heizkörpers Staubgeruch sich bemerkbar macht, bei sehr hoher Temperatur der Heizflächen auch wohl innerhalb eines regelmässigen Heizbetriebes, ob aber die geringe Menge Staub, die alsdann eine Veränderung erfährt, thatsächlich eine schädlichere Wirkung auf die Gesundheit ausübt, als beispielsweise die Verbrennungsgase einer Zigarre, ist zu bezweifeln. Doch abgesehen hiervon muss die Fernhaltung von Staub durchaus befürwortet werden, da gewöhnlich die Heizkörper infolge ihrer Gestaltung sich einer täglichen Reinigung mehr oder weniger entziehen und alsdann zur Bildung von Staubnestern Veranlassung geben können.

Die Vorrichtungen zum Reinigen der Luft sind im Wesentlichen folgende.

1. Staubkammern.

Eine solche stellt weiter nichts als eine Erweiterung des Kanals in Gestalt eines grossen Raumes dar, in dem die Luft eine sehr geringe Geschwindigkeit annimmt und somit dem Staube Zeit lässt, sich vermöge seiner Schwere abzulagern. Je grösser die Staubkammern angelegt werden, je besser erfüllen sie ihren Zweck. Dafür, dass die eintretende Luft schnell ihre Geschwindigkeit verliert und nicht kurzer Hand in einem fast geschlossenen Strome durch die Staubkammern fliessen kann, muss naturgemäss Vorsorge getroffen werden. Staubkammern sind für alle Lüftungsanlagen zu empfehlen.

Selbstverständlich dürfen die Staubkammern nicht selbst Veranlassung zur Staubbildung oder sonstigen Güteverminderung der Luft geben, sie dürfen somit niemals auch noch zu wirthschaftlichen Zwecken Verwendung finden, müssen aus glattem, fein gefugtem, jedenfalls nicht mit leicht abbröckelndem Putze versehenem Mauerwerke bestehen, gegen Eintritt von Grundwasser und Grundluft sicher geschützt und behufs leichten und bequemen Reinigens hell, begehbar, mühelos zugänglich sein.

2. Staubfänger.

Dieselben haben den Zweck, der sie berührenden Luft Staub zu entziehen, ohne dadurch einen nennenswerthen Druckverlust hervorzurufen. Sie bestehen aus Körpern mit möglichst grossen

*) Vergl. deutsche Vierteljahrsschrift für öffentl. Gesundheitspflege, Bd. XIV, Heft 1.

Digitized by Google

Oberflächen, an denen der Staub leicht haftet, und werden derartig aufgestellt, dass der langsam sich an ihnen vorüberbewegende Luftstrom öftere Ablenkung erfährt, somit möglichst viele Lufttheilchen mit ihnen in Berührung kommen. Am besten eignen sich für Staubfänger faserige Woll- und Baumwollstoffe (Barchent u. s. w.) die auf Rahmen gespannt in der Staubkammer aufgestellt werden. Selbstverständlich muss die Aufstellung derartig erfolgen, dass der Zweck der Staubkammer, der Luft durch möglichst geringe Geschwindigkeit Zeit zu geben, den mitgeführten Staub absetzen zu können, nicht aufgehoben wird.

3. Filter.

Filter haben den Zweck, auch die feinen Staubtheilchen, die in den Staubkammern oder an den Staubfängern nicht zur Ablagerung gelangen, auszuscheiden und bestehen in der Lüftungstechnik meist aus aufgespannten Geweben, durch welche die zu reinigende Luft hindurchgepresst wird. Für die Berechnung sind sie also lediglich als Widerstände gegen die Luftbewegung anzusehen. Je feinmaschiger sie sind, desto besser werden sie ihren Zweck zwar erfüllen, desto grösser ist aber auch der Widerstand, den sie der Luft darbieten. Der Widerstand wächst mit der Gebrauchsdauer, da sich die Maschen zum Theile durch den Staub u. s. w. zusetzen. Die Anordnung der Filter kann in der Praxis aus dem Bestreben, eine möglichst grosse Filterfläche in verhältnissmässig kleinen Räumen unterzubringen, die mannigfaltigste Gestaltung erfahren, sie hat jedoch stets derartig zu erfolgen, dass die Filterfläche nicht eine Unterlage für Staubansammlung bildet, d. h. dass der Staub, der nicht in das Gefüge des Filters unmittelbar eindringt, äusserlich herabfallen kann, die gröberen Theile von selbst, die feineren beim Schütteln oder Klopfen des Filters.

Nach Versuchen des Verfassers*) wächst der Widerstand, den ein Filter der Luftbewegung entgegenstellt, annähernd im Verhältnisse der durchgeführten Luftmenge und im ungekehrten Verhältnisse der Fläche; die Filterflächen sind daher möglichst gross zu halten. Für die Benutzung der Filter muss angenommen werden, dass das Reinigen derselben erst nach mehrwöchentlichem Betriebe erforderlich wird, also ist auch für die Grössenbestimmung derselben mit dem sich ergebenden Widerstande zu rechnen.

Bedeutet L die durch das Filter stündlich zu führende Luftmenge in cbm gegeben in der Temperatur t, F die Gesammtfläche des Filters in qm, H_f die Widerstandshöhe, d. h. die Höhe einer Luftsäule in m von der Temperatur t_0 der zu filternden Luft, die durch

*) Rietschel, Untersuchungen von Filterstoffen für Lüftungsanlagen; Gesundheits-Ingenieur 1889.

Digitized by Google

den Widerstand des Filters von der Druckhöhe der äusseren Luft verloren geht, m eine durch Versuche gewonnene Konstante, so ist:

$$\frac{H_f}{1+\alpha t_0} = \frac{mL}{F(1+\alpha t)}. \qquad (18)$$

m ist zu setzen für:

gewöhnliches Nesseltuch (bei ungefähr 25 Faden auf 1 cm Länge) = 0,0015 bis 0,002,

Möller'sches Filtertuch (gerauheter Barchent, ungefähr 17 Faden Schuss, 27 Faden Kette auf 1 cm Länge) = 0,024 bis 0,03. Der kleinere Werth gilt, wenn eine häufigere, der grössere, wenn eine seltenere Reinigung des Filters stattfinden soll.

Bei Lüftungsanlagen, die nur auf Differenz der Temperaturen beruhen, wie solche der Winter mit sich bringt, ergiebt sich die Filterfläche für den geforderten Luftwechsel meist so gross, dass sie nicht unterzubringen ist; in diesen Fällen muss auf ein Filtern der Luft verzichtet oder mit einem geringeren Luftwechsel fürlieb genommen werden. Bei Anwendung von Filtern wird die Anordnung von Staubkammern nicht überflüssig, selbstverständlich hat die Staubkammer vor der Filterfläche zu liegen.

Die leichte Beseitigung der Filtertücher zu Zwecken des Reinigens ist vorzusehen.

Da das Verstauben des Filters stets eine Verminderung des zur Bewegung der Luft erforderlichen Ueberdrucks der äusseren über die innere Luft bedingt, so ist ein öfteres Reinigen anzurathen. Es ist zweckmässig, den Einfluss des Verstaubens bezw. den Zeitpunkt des erforderlichen Reinigens durch ein mit der Luft vor und hinter dem Filter in Verbindung stehendes Differentialmanometer (schwach geneigte Glasröhre mit entsprechender Sperrflüssigkeit) kenntlich zu machen.

Beispiel.

Aufgabe. Der Raum eines Gebäudes von 20° Temperatur erfordere stündlich 10000 cbm Luft. Dieselbe ist unmittelbar nach Entnahme von aussen zu filtern. Als Filtertuch ist gerauheter Barchent zu wählen und $m = 0{,}024$ zu setzen. In der Staubkammer ist durch Zickzackanordnung der Rahmen eine Filterfläche von 100 qm unterzubringen. Die äussere Luft hat eine höchste Temperatur von 0°, bei der der volle Luftwechsel gefordert wird.

Lösung der Aufgabe. In Gl. 18 ist zu setzen: $L = 10000$, $F = 100$, $t = 20$, $t_0 = 0$, $m = 0{,}024$ und ergiebt sich:

$$\frac{H_f}{1+\alpha 0} = \frac{0{,}024 \cdot 10000}{100\,(1+\alpha 20)} \sim 2{,}6\ m$$

Die Widerstandshöhe ist so gross, dass sie (s. Berechnung der Kanalanlage) die Anwendung eines Ventilators erfordert.

Digitized by Google

4. Waschen der Luft.

Ein gewisses Waschen der Luft findet statt, wenn bei Anwendung von Filtern diese angefeuchtet werden. Die Anordnung ist jedoch nicht zu empfehlen, da der Druckverlust sehr gesteigert wird, Gewebefilter leicht faulen, auch im Winter das Wasser gefriert.

Austritt der Luft in fein vertheiltem Zustande unter Wasser*) erfordert bedeutenden Kraftaufwand und ist nicht zuverlässig, weil nicht alle Staubtheile mit dem Wasser in Berührung kommen.

Durchführen der Luft durch einen Wasserstaubregen von bedeutender Ausdehnung ist am zweckmässigsten für das Reinigen, hat aber den Nachtheil, dass sich die Luft nahezu mit Wasser sättigt, auch mechanisch noch Wassertheilchen mit fortführt.

Diese Nachtheile sind zu beseitigen durch Vorrichtungen für Abscheiden des fortgeführten Wassers, die aber jederzeit Widerstände hervorrufen, und durch Ertheilung einer Temperatur der Luft während des Waschens, bei der die Luft im gesättigten Zustande nur soviel Wasser enthalten kann, als bei der im Raume geforderten Temperatur in der Luft enthalten sein soll. Gesättigte Luft von 9^0 giebt z. B. auf 20^0 erwärmt, Luft von nahezu halbgesättigtem Zustande. Hierauf gestützte Einrichtungen verbinden Waschen mit Befeuchten, erfordern aber 2 getrennte Heizapparate, den einen zur erstmaligen entsprechenden Anwärmung, den zweiten zur Weitererwärmung der Luft auf die vorgeschriebene Temperatur. Die Anordnung ist zu empfehlen, aber umständlich, daher meist nur bei grossen Anlagen angängig.

III. Befeuchtung der Luft.

(Siehe Tafel III.)

Nach dem im zweiten Kapitel, Abs. 2, S. 7, Gesagten ist bei jeder Lüftungsanlage Vorsorge zu treffen, dass im Winter die Luft in den Räumen auf etwa 50 % befeuchtet werden kann. Da die künstliche Befeuchtung den Zweck hat, der Luft die Möglichkeit zu nehmen, den in den Räumen anwesenden Personen ein der Gesundheit nachtheiliges Mass von Feuchtigkeit zu entziehen, so müssen die betreffenden Vorrichtungen so gross bemessen werden, dass, wie bereits erwähnt, die geforderte Sättigung bereits bei unbesetzten Räumen Erfüllung findet. Die Nothwendigkeit der Befeuchtung wird durch den Umstand bedingt, dass die von aussen mit niedrigerer Temperatur entnommene Luft auch im gesättigten Zustande nur eine verhältnissmässig geringe Menge Feuchtigkeit enthält (s. Tabelle 1) und dass infolge ihrer Erwärmung die Feuchtigkeitskapacität, also auch das Sättigungsdeficit wächst. Die Feuchtigkeitsentziehung beim Menschen

*) S. a. Gesundheits-Ingenieur 1880, S. 64.

Digitized by Google

durch die Luft ist vom technischen Standpunkte aus wie ein Trocknungsvorgang zu betrachten, zu dem jederzeit Wärme und Luftwechsel gehören — Wärme, um ein Sättigungsdeficit in der Trocknungsluft hervorzurufen, Luftwechsel, um die infolge Entziehung von Feuchtigkeit von den zu trocknenden Gegenständen bereits höher gesättigte Luft durch trockne Luft zu ersetzen. Ein Raum ohne jede Lüftung würde eine Befeuchtung der Luft somit nicht benöthigen.

An was für einer Heizfläche die Luft erwärmt wird, ist vollkommen gleichgültig, da die Luft durch Erwärmung nur relativ, niemals absolut trockner wird. Es ist also z. B. die oft gehörte Behauptung unrichtig, dass ein eiserner Ofen die Luft mehr austrockne, als ein Kachelofen — keiner von beiden trocknet die Luft aus. Die austrocknende Wirkung einer Heizung wird durch die mit ihr verbundene oder durch sie bedingte Lüftung hervorgerufen.

1. Einrichtungen zur Befeuchtung.

Die Befeuchtung der Luft kann in den zu lüftenden Räumen selbst oder gemeinsam an einer Stelle der Zuluftanlage erfolgen.

A) Oertliche Befeuchtung.

Die örtliche Befeuchtung wird bei örtlicher Erwärmung der Räume meist durch offne, mit Wasser gefüllte, auf die Heizkörper gestellte Gefässe bewirkt, ist aber dann bei einigermassen kräftiger Lüftung, was eine einfache Rechnung zeigt, vielfach unzureichend. Ausserdem hängt die Wasserverdunstung lediglich von dem Wärmebedürfnisse ab. Ausgiebiger wird die Befeuchtung bei Anordnung von Wassergefässen in den Mündungen der Zuluftkanäle, da alsdann die Anzahl der Wassergefässe grösser genommen werden kann, auf die Wasserverdampfung auch die Bewegung der vorüberströmenden Luft fördernden Einfluss hat. Besser als Gefässe sind die Einrichtungen, bei denen durch Benutzung von Flächen (Stoffen) oder durch Zerstäubung von Wasser der Luft eine grössere Wasseroberfläche dargeboten wird, am ausgiebigsten ist direkter Dampf.

Sofern gewöhnliche Verdampfungsgefässe angewendet werden, müssen dieselben nicht nur leicht füllbar, sondern auch leicht reinigungsfähig angeordnet werden, da durch Ansammlung von Staub u. s. w. Gerüche entstehen können. Dasselbe gilt bei Berieselung von Flächen bezw. Benetzung von Stoffen. Das unmittelbare Einführen von Dampf kann nur empfohlen werden, wenn für die Dampfbereitung eine besondere Anlage angeordnet werden soll, da bei Entnahme des Dampfes aus gewöhnlichen Dampfkesseln Gerüche kaum zu vermeiden sind.

Die Unzulänglichkeit örtlicher Befeuchtung oder die Schwierigkeit, die dieselbe sowohl der Anordnung als der Bedienung entgegensetzt, sind Ursache ihrer seltenen Anwendung bei Lüftungsanlagen.

Digitized by Google

B) Gemeinsame Befeuchtung.

Bei der gemeinsamen Befeuchtung ist für das Maſs derselben zu beachten, ob die befeuchtete Luft unmittelbar den zu lüftenden Räumen zugeführt oder ob derselben vorher noch unbefeuchtete Mischluft beigegeben wird.

a) Apparate, abhängig von der Wärme des Heizapparates für Erwärmung der Zuluft. *α*) Verdunstungsgefässe. Dieselben stehen meist über dem Heizapparate und bestehen aus flachen mit Wasser gefüllten Gefässen, in denen der Wasserspiegel entweder jederzeit derselbe bleibt oder innerhalb gewisser Grenzen veränderlich gehalten werden kann; letztere sind vorzuziehen.

Der Wasserstand muss ausserhalb der Heizkammer kenntlich und ergänzbar sein. Für bequemes und öfteres Reinigen und für Möglichkeit des Abflusses ist Sorge zu tragen. Bei Vernachlässigung des Reinigens bildet sich bei kalkhaltigem Wasser eine auf demselben schwimmende feste Schicht, welche die Verdunstung erheblich vermindert. Zweckmässig ist es, geeignete Ablenkungen für die Luft anzuordnen, durch welche dieselbe eine möglichst entlang der Oberfläche des Wassers gerichtete Bewegung erhält. Der Sauberkeit wegen ist zu empfehlen, die innere Seite der Gefässe mit einem Emailleüberzug zu versehen. Als ein Mangel der Verdunstungsgefässe ist anzuführen, dass die Wirkung derselben vom Wärmebedarfe in den Räumen, d. h. vom Heizbetriebe abhängig ist, die Nothwendigkeit der Befeuchtung aber von dem Feuchtigkeitsgehalte der äusseren Luft; beides deckt sich nur in weiten Grenzen.

β) Zerstäubungsapparate. Dieselben beruhen auf dem Zerstäuben eines sehr dünnen mit grosser Geschwindigkeit gegen eine feste Fläche geführten Wasserstrahls (Wasserleitung).

Sie lassen jeden Grad der Befeuchtung zu, geben daher leicht bei Unaufmerksamkeit der Bedienung zu grosse Feuchtigkeit; der Heizapparat bezw. die an demselben erwärmte Luft hat die Aufgabe, das zerstäubte Wasser in Dampfform überzuführen.

Die Apparate erhalten Fangschalen mit Ableitung zum Auffangen bezw. Abführen des Tropfwassers. Vorsichtige Aufstellung zur Vermeidung ungleicher Vertheilung des Wassers ist geboten. Die kleinen Oeffnungen der Düsen setzen sich leicht zu und erfordern daher öftere Reinigung, somit Aufmerksamkeit in der Bedienung. Bei einer grösseren Anzahl Düsen sind dieselben gruppenweise absperrbar einzurichten, auch ist auf eine derartige Anordnung der Düsen zu achten, dass auch bei Absperrung einzelner Gruppen eine gleichmässige Befeuchtung der Luft bestehen bleibt.

b) Apparate, unabhängig von der Wärme des Heizapparates für Erwärmung der Zuluft. Die hauptsächlichsten sind folgende:

α) Besonders geheizte Verdunstungsgefässe. Dieselben

Digitized by Google

finden in der Praxis wegen Umständlichkeit im Betriebe selten Anwendung.

β) Dämpfer. Dieselben bestehen aus Gefässen, angefüllt mit kleinen Steinen, Glaskugeln u. s. w., durch die Dampf mit ganz geringer Geschwindigkeit geleitet wird. Sie sind nur anwendbar bei vorhandener Dampfleitung. Der austretende Dampf giebt der Luft leicht einen unangenehmen Geruch, daher ist die Anwendung nicht sonderlich zu empfehlen.

γ) Apparate zur Verdampfung von Wasser durch Dampfheizkörper. Diese Apparate sind als die besten zu bezeichnen, jedoch nur bei vorhandenem Dampfe für andere Zwecke anzuwenden.

Die Verdampfung erfolgt in Gefässen (am besten aus Eisen, innen emaillirt oder aus Kupfer, innen verzinnt), in denen meist geneigte Dampfröhren liegen. Je nach dem Wasserstande befindet sich viel oder wenig Wasser in Berührung mit den Dampfröhren, so dass jeder Grad der Verdampfung erzielt werden kann. Das in den Dampfröhren sich bildende Niederschlagswasser ist abzuleiten. (Siehe auch S. 33 „Waschen der Luft".)

2. Bestimmung der erforderlichen Wassermenge.

Es bedeute L den stündlich geforderten Luftwechsel in cbm, gegeben in der Raumtemperatur t^0 in Kopfhöhe, p_0 den anzunehmenden Procentsatz der absoluten Sättigung der äusseren Luft bei der niedrigsten Temperatur t_0, bei welcher der volle Lüftungseffekt erzielt werden soll, p den gewünschten Procentsatz der Sättigung der Innenluft, g_0 den Wassergehalt eines cbm Luft von der Temperatur t_0 bei voller Sättigung in kg, g denjenigen eines cbm Luft von t bei voller Sättigung, A die erforderliche Menge Wasser in kg, die zu verdampfen ist.

A muss gleich sein der Differenz zwischen der Wassermenge, welche die Luftmenge L von der Temperatur t besitzen soll und derjenigen, welche in ihr bei Entnahme von aussen enthalten ist. L cbm von t^0 sind $\frac{L(1+\alpha t_0)}{1+\alpha t}$ von t_0. Die Raumluft soll Wasser besitzen:

$$\frac{Lpg}{100},$$

sie enthält Wasser bei der Entnahme von aussen:

$$\frac{L(1+\alpha t_0)}{1+\alpha t}\frac{p_0 g_0}{100},$$

somit ist:

$$A = \frac{Lpg}{100} - \frac{L(1+\alpha t_0)}{1+\alpha t}\frac{p_0 g_0}{100} = \frac{L}{100}\left(pg - \frac{1+\alpha t_0}{1+\alpha t} p_0 g_0\right). \qquad (19)$$

Digitized by Google

In der Regel kann $p_0 = 80$, $p = 50$ (s. S. 7) angenommen werden. (Bezüglich g und g_0 siehe Tabelle 1, bezüglich $\frac{1+\alpha t_0}{1+\alpha t}$ Tabelle 2, bezüglich des Ausdrucks $pg - \frac{1+\alpha t_0}{1+\alpha t} p_0 g_0$ Tabelle 6.)

A ist also die Wassermenge, die der Luft zugeführt werden muss, damit den Anwesenden nicht mehr Wasser als dienlich entzogen wird, der Procentsatz p bezieht sich somit auf den Zustand der Nichtbenutzung des Raumes, bei Gegenwart von Personen steigt der Wassergehalt.

Ist Q die stündliche Wassermenge in kg, welche die anwesenden Personen durch Verdunstung an die Luft abgeben (s. S. 27), so stellt sich, wenn andere Quellen der Wasserdampfabgabe nicht vorhanden sind, der Procentsatz der Sättigung der Innenluft zu:

$$p' = \frac{100\,(A+Q)}{Lg}. \qquad (20)$$

Beispiel.

Aufgabe. Ein Raum erfordert stündlich einen Luftwechsel von 1000 cbm, die Temperatur des Raumes beträgt 20°. Es wird gefordert, dass, wenn keine Personen anwesend sind, die Luft auf 50% gesättigt sein soll, sofern die Aussenluft eine Temperatur von $-20°$ und eine absolute Sättigung von 80% besitzt. Wie viel Wasser (A) muss stündlich verdampft werden und wie stellt sich der Procentsatz (p') der Sättigung, wenn 40 Erwachsene in dem Raume sich aufhalten?

Lösung der Aufgabe. Es ist zu setzen: $L = 1000$, $t = +20$, $t_0 = -20$, $p = 50$, $p_0 = 80$, g (nach Tab. 1) $= 0{,}0172$, $g_0 = 0{,}0011$, Q (da ein Erwachsener im Mittel stündlich 0,040 kg Wasser durch Verdunsten abgiebt, s. S. 7) $= 40 \cdot 0{,}040 = 1{,}6$. Somit ist:

$$A = \frac{1000}{100}\left(50 \cdot 0{,}0172 - 80 \cdot 0{,}0011\,\frac{1-\alpha 20}{1+\alpha 20}\right) = 7{,}84 \text{ kg},$$

$$p' = \frac{100\,(7{,}84+1{,}6)}{1000 \cdot 0{,}0172} \sim 55\%.$$

IV. Trocknung der Luft.

Die Nothwendigkeit der Entziehung von Feuchtigkeit der Luft (s. Zweites Kapitel, Abs. 2) tritt im Sommer bei Kühlanlagen hervor; sie soll daher mit diesen behandelt werden.

V. Mittel für die Bewegung der Luft.

(Siehe Tafel IV, V und VI.)

Die Mittel für die Bewegung der Luft bestehen in der Erwärmung oder Kühlung der Luft, oder in Benutzung von Druck- oder Saugapparaten.

Die eigentliche Erwärmung, d. h. Berechnung derselben, Grösse der Heizkörper u. s. w. gehört unter den Abschnitt „Heizung“, für

Digitized by Google

die Lüftung der Räume kommen nur die Einrichtungen zur Erwärmung der Luft, soweit von denselben der Lüftungseffekt oder das Güteverhältniss der Luft abhängig zu machen ist, und die Temperaturen der Luft, da diese für die Bewegung der Luft massgebend sind, in Frage.

Eine Kühlung der inneren Luft zu Zwecken der Luftbewegung findet kaum in der Praxis Verwendung, so dass dieselbe hier umsomehr übergangen werden kann, als das Weitere bei dem Kapitel „Kühlung geschlossener Räume" Besprechung findet.

A) Erwärmung der Luft.

1. Einrichtungen zur Erwärmung.

Die Erwärmung der Luft muss, sofern sie Zuluft ist, an Heizkörpern erfolgen, die eine Güteverminderung derselben ausschliessen; für die Abluft braucht diese Forderung nicht gestellt zu werden.

Die Erwärmung der Zuluft ist für die Bewegung der Luft in den senkrechten Kanälen um so wirksamer, je tiefer dieselbe gegen die zu lüftenden Räume erfolgt; die Erwärmung im Keller ist daher vor der Erwärmung in den zu lüftenden Räumen an und für sich vorzuziehen.

Die Erwärmung der Abluft bei der Saugelüftung findet entweder wie bei der Zuluft durch besondere Heizkörper statt, oder unter Benutzung der Wärme abziehender Rauchgase durch die Schornsteinwandungen, ferner durch Gasflammen oder direktes Feuer.

Bei Benutzung der Wärme abziehender Rauchgase für Erwärmung der Abluft einzelner Kanäle wird in der Regel der Abluftkanal neben den betreffenden Schornstein gelegt und die Wange zwischen beiden aus einer Eisenplatte hergestellt, dagegen bei gemeinsamer Erwärmung der Abluft der Schornstein einer vorhandenen Centralheizung oder derjenige einer besonderen Feuerung (Lockfeuerung) in Form eines gusseisernen Rohres ausgebildet und in den Schacht für Ableitung der Luft über Dach eingebaut.

Die Erwärmung der Abluft durch ein offenes Feuer ist wegen der Möglichkeit des Rückschlagens von Rauch und Russ nicht zu empfehlen, diejenige durch Gas kommt des theuren Betriebs halber hauptsächlich nur bei Einzelkanälen in Verwendung.

Alle selbstständigen Lockfeuerungen sind zu vermeiden, sofern nicht eine spätere gewissenhafte Benutzung derselben vorausgesetzt werden kann, ebenso alle mittelbar wirkenden Einrichtungen (Benutzung abziehender Wärme), sofern der Luftwechsel jederzeit der gleiche sein soll. Es ist z. B. bei Centralheizungen, deren Abgase zur Ablufterwärmung benutzt werden sollen, wohl zu bedenken, dass der Wärmebedarf von der Temperatur der Aussenluft abhängt, also ein schwankender ist,

Digitized by Google

der Lüftungsbedarf bei derselben Anzahl Personen einem Wechsel nicht unterliegen soll, dass der tägliche grösste Wärmebedarf beim Anheizen, also vor Benutzung der Räume stattfindet, der Lüftungsbedarf nur während Benutzung der Räume vorhanden ist. Bei einer Küchenherdheizung dagegen liegen bei Benutzung der Wärme der abziehenden Rauchgase die Verhältnisse durchaus günstig, da Koch- und Lüftungsbedarf sich zeitlich und nach Umfang decken.

2. Temperaturen der Luft.

a) Temperatur der Aussenluft. Bei jeder Lüftungsanlage ist die höchste und niedrigste Temperatur der äusseren Luft anzunehmen bezw. vorzuschreiben, bei denen der erforderliche Luftwechsel erzielt werden soll. Die Wahl derselben hat unter Berücksichtigung der Bestimmung der Räume zu erfolgen.

α) Die höchste äussere Temperatur ist im Allgemeinen anzunehmen zu:

$+ 25^0$, sofern der Luftwechsel durch die Anlage sowohl im Winter als im Sommer erzielt werden soll. (Mehrstöckige Krankenhäuser, Theater, Parlamente u. s. w.)

$+ 10^0$, sofern nur während der Heizperiode die volle Lüftung verlangt wird. (Einstöckige Krankenhäuser, Schulen, Gerichtsgebäude, Gesellschafts-, Konzert-, Versammlungs-, Verhandlungs-, Kassenräume u. s. w.)

0^0 bis 5^0, sofern die volle Lüftung nur durchschnittlich im Winter erzielt zu werden braucht. (Wohnräume, gering besetzte Geschäftsräume u. s. w.)

Die höchste äussere Temperatur ist, sofern die Räume nicht gleichzeitig durch die einzuführende Luft erwärmt werden (Luftheizung), jederzeit der Berechnung der Kanalanlage zu Grunde zu legen. Bei Luftheizung ist die Temperatur für die Kanalberechnung nicht unbedingt gleich der höchsten äusseren Temperatur zu setzen, bei welcher der volle Luftwechsel erzielt werden soll. Die Bestimmung der betreffenden Temperatur erfolgt nach Kapitel 16, II, 2.

β) Die niedrigste äussere Temperatur ist jederzeit massgebend für die Grössenverhältnisse des Heizapparates behufs Erwärmung der Zuluft.

Soll der volle Luftwechsel auch an den kältesten Wintertagen erzielt werden oder wird die Erwärmung der Räume an den Luftwechsel geknüpft (Luftheizung), so ist die Temperatur gleich der niedrigsten äusseren Temperatur, für welche die Heizanlage bestimmt ist, anzunehmen (-20 bis -25^0). Da jedoch sehr selten die niedrigste äussere Temperatur anhaltend eintritt, kann für diese Fälle, mit Ausnahme bei Luftheizung, meist eine Beschränkung des Luftwechsels zugelassen und daher als niedrigste äussere Temperatur für Lüftungsanlagen -10^0 in Ansatz gebracht werden.

Digitized by Google

b) Temperatur des zu lüftenden Raumes. Für dieselbe ist — gemessen in einer Höhe von etwa 1,5 m über Fussboden (Kopfhöhe) — anzunehmen für:

Wohn- und Geschäftsräume	+ 20° C.
Säle und Auditorien	18° „
Schlafräume	15° „
Korridore, Flure, Treppenhäuser (je nach Benutzung)	13—18° „
Gefängnissräume zum Aufenthalte von Gefangenen bei Tage	18° „
Gefängnissräume zum Aufenthalte von Gefangenen bei Nacht	10° „
Gewächshäuser:	
Kalthäuser	15° „
Warmhäuser	25° „
Kirchen	10—12° „
Baderäume für gewöhnliche warme Bäder	22° „
Römisch-irische Bäder:	
Auskleide- und Nachschwitzraum	22° „
Erster Schwitzraum (Tepidarium)	45° „
Zweiter Schwitzraum (Sudatorium)	65° „
Wasch- und Brauseraum (Lavacrum)	25° „
Ställe	15° „

In grösserer Höhe als angegeben, besonders unter der Decke, herrscht, wenn der Raum geheizt ist, keine aussergewöhnliche Höhe und keine besonders grosse Deckenabkühlung besitzt, eine gesteigerte Temperatur.

In der Praxis kann erfahrungsgemäss bis zu einer Höhenlage von 3 m vom Fussboden an gerechnet, die Temperaturzunahme vernachlässigt, über 3 m die Temperatur bei vollem Heizbetriebe und bei einer nicht über das gewöhnliche Mafs hinausgehenden Beleuchtung mittels elektrischen oder Gasglühlichts im Mittel gesetzt werden:

$$t'' = t + 0{,}1\,t(h-3), \text{ jedoch } t'' \text{ höchstens } 1{,}5\,t, \qquad (21\,a)$$

von etwa + 10° Aussentemperatur an gerechnet ohne Beleuchtung oder mit Beleuchtung durch elektrisches Bogenlicht:

$$t'' = t + 0{,}03\,t(h-3), \qquad (21\,b)$$

worin bedeutet:

t die aus der obigen Aufstellung entnommene Temperatur in Kopfhöhe,

h die Höhenlage vom Fussboden an gerechnet.

Bei vorhandener Gasbeleuchtung mit gewöhnlichen Brennern, auch bei besonders glanzvoller, über das gewöhnliche Mafs hinausgehender

Digitized by Google

Beleuchtung mittels Gasglühlichts oder elektrischen Glühlichtes ist unter h nur die Höhe vom Fussboden bis zur Beleuchtung zu verstehen; die Temperatur über dieser ist diejenige, die nach Früherem (s. S. 17) zur Bestimmung des Luftwechsels für den Raum über der Beleuchtung angenommen werden muss.

c) **Temperatur der Zuluft.** Sofern die Zuluft den zu lüftenden Raum weder zu erwärmen, noch zu kühlen hat, ist für dieselbe die gleiche Temperatur anzunehmen, die im Raume herrschen soll.

Sofern die Zuluft dem zu lüftenden Raume Wärme entziehen soll, ist ihre für die Berechnung der Kanalanlage in Frage kommende Temperatur gemäss der Gl. 13:

$$t' = t - \frac{W(1 + \alpha t)}{0{,}306\, L}, \qquad (22)$$

worin bedeutet:

t die verlangte Temperatur in Kopfhöhe,
W die der Raumluft bei der angenommenen höchsten Aussentemperatur abzunehmende Wärme,
L der stündliche Luftwechsel des Raumes in cbm, ausgedrückt in der Temperatur t.

Als niedrigste zulässige Einströmungstemperatur bei benutzten Räumen ist je nach Lage, Vertheilung und Art der Einströmung $t' = 15$ bis 18^0 zu setzen.

Sofern die Zuluft dem zu lüftenden Raume Wärme zuführen soll (Luftheizung), ist die für die Berechnung der Kanalanlage in Frage kommende Temperatur nach Kapitel 16, II, 2 zu bestimmen.

Die höchste zulässige Einströmungstemperatur, die also nicht für Berechnung der Kanalanlage, sondern lediglich für diejenige des Luftwechsels bei Erwärmung der Räume durch die Zuluft behufs Grössenbestimmung des Heizapparates in Frage kommt, soll während der Benutzung der Räume $t' = 35$ bis 40^0, bei Feuerluftheizung vor Benutzung der Räume $t' = 50^0$ nicht übersteigen (s. a. Luftheizung).

d) **Temperatur der Abluft.** Die Temperatur der unmittelbar aus dem Raume abziehenden Luft ist die in der betreffenden Höhenlage des Raumes herrschende.

Soll zur Sicherung oder Erhöhung des Lüftungseffekts die Abluft noch besonders erwärmt werden, so ist, wenn

Δ_1 die Temperatur der Abluft vor der Erwärmung,
Δ_2 die Temperatur der Abluft nach der Erwärmung

bedeutet, die für den Abluftkanal in Rechnung zu ziehende Temperatur Δ, sofern derselbe eine vor Wärmeabgabe geschützte Lage besitzt,

bei Aufstellung der Wärmequelle unmittelbar am Fusse des Kanals (Heizkörper, Gasflammen u. s. w.): $\Delta = \Delta_2$,
bei gleichmässiger Vertheilung der Wärmelieferung zur Erwärmung der Abluft vom Fusse des Kanals bis zur Höhe h_1,

Digitized by Google

sofern mit h die gesammte Höhe des Kanals bedeutet (geheiztes Standrohr, Schornstein):

$$\Delta = \Delta_2 - \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{2} \frac{h_1}{h}. \qquad (23)$$

Da Δ_1 stets gegeben ist, so ist Δ_2 für Δ ausschlaggebend.

Die Temperatur Δ_2 kann angenommen werden und zwar entweder unmittelbar, wenn die Grössenbestimmung der Kanalquerschnitte nach Massgabe der baulichen Verhältnisse, sowie die Grösse und Leistung der Wärmequelle, bezw. diese selbst dem Ermessen des Konstrukteurs überlassen sind, oder nur mittelbar, wenn zwar die Grössenbestimmung der Kanalquerschnitte freigestellt, die Wärmequelle aber vorgeschrieben ist und diese sich in Abhängigkeit von einer anderen Anlage befindet.

Die Temperatur Δ_2 muss dagegen aus den Gleichungen für die Luftbewegung berechnet werden, sofern die Kanalquerschnitte bestimmte Abmessungen zu erhalten haben. Dieser Fall kann erst später bei Berechnung der Kanäle Erörterung finden (s. Sechstes Kap., IV, B, 2, b, Fall 3).

Die unmittelbare Annahme der Temperatur Δ_2, sowie die Wahl bezw. Anordnung der Wärmequelle hat unter Berücksichtigung des Umstandes zu erfolgen, dass für die Oekonomie des Betriebes eine niedrige Temperatur und — wie aus dem über die Temperatur Δ Gesagten hervorgeht —, die Aufstellung der Wärmequelle möglichst am Fusse des Kanals erwünscht ist. Welche Temperatur die empfehlenswertheste ist, muss im einzelnen Falle nach der in Anwendung gebrachten Wärmequelle und nach der Temperatur Δ_1 Entscheidung finden. Unter Berücksichtigung des Gesagten setze man, wenn $\Delta_1 = 20^0$ und darunter beträgt, bei Anwendung

eines Warmwasser-Heizkörpers Δ_2 nicht höher als etwa	25^0,
eines Heisswasser- oder Dampfheizkörpers oder eines eisernen Rauchrohres, dessen Temperatur- und Querschnittsverhältnisse freiem Ermessen überlassen sind	30^0,
eines Feuerheizkörpers	40^0.

Diese Temperaturen lassen sich, besonders diejenigen für Feuerheizkörper, noch steigern, doch stets auf Kosten der Oekonomie. Einem Betriebe mit einer in Bezug auf die gewählte Wärmequelle als hoch zu bezeichnenden Temperatur ist meist ein Betrieb mit Ventilatoren vorzuziehen, sofern sachkundige Wartung derselben, auch schnelle Hilfe bei erforderlichen Reparaturen, angenommen werden kann.

Die Wärmemenge W, die zur Erwärmung von L cbm Abluft

Digitized by Google

gegeben in t^0 aber von der Temperatur Δ_1 auf die Temperatur Δ_2 von der Wärmequelle zu liefern ist, berechnet sich gemäss Gl. 5c zu

$$W = \frac{0{,}306\,L}{1+\alpha t}(\Delta_2 - \Delta_1). \qquad (24)$$

(Die Werthe für diesen Ausdruck sind Tabelle 3 zu entnehmen.)

Die mittelbare Annahme der Temperatur Δ_2 kommt hauptsächlich in Frage, wenn sich die Luft im Abluftkanale an einem in demselben aufsteigenden Schornsteine (oder an einem Theile desselben) erwärmen soll, der einer anderen Zwecken dienenden Feuerungsanlage (Centralheizung, Küchenherd u. s. w.) zugehört und dessen Querschnitt für eine bestimmte Ein- und eine nicht zu überschreitende Austrittstemperatur der Rauchgase Berechnung gefunden hat. Alsdann ist Gl. 24 zur Bestimmung von Δ_2 nicht ausreichend, da auch W nicht bekannt ist.

Die Wärme W, die zur Erwärmung der Abluft zur Verfügung steht, ist diejenige, welche die Rauchgase an die Schornsteinfläche abgeben und welche diese wieder an die Luft überführt. Bedeutet also ausser den bereits angeführten Bezeichnungen:

F die Wärme abgebende Fläche des Schornsteins in qm,
ϑ_1 die Temperatur der Rauchgase bei Eintritt in den Schornstein,
ϑ_2 die Temperatur der Rauchgase bei Austritt aus dem Schornsteine,
G das Gewicht der Rauchgase von 1 kg Brennmaterial in kg,
p die Menge des stündlich verbrauchten Brennmateriales in kg,
c die specifische Wärme der Rauchgase,
k die stündliche Wärmeabgabe von 1 qm Wärmefläche bei einem Grad Temperaturunterschied,

so ist:

die Wärme, welche die Rauchgase an die Wärme abgebende Schornsteinfläche übertragen:

$$W = Gpc(\vartheta_1 - \vartheta_2), \qquad (25)$$

die Wärme, welche die Schornsteinfläche an die Luft abgiebt (s. Abschnitt „Heizung"):

$$W = Fk\left(\frac{\vartheta_1+\vartheta_2}{2} - \frac{\Delta_1+\Delta_2}{2}\right). \qquad (26)$$

Für k ist der Werth, wenn der Schornstein aus Mauerwerk besteht, aus Tabelle 12, wenn der Schornstein aus Eisen besteht, aus Tabelle 13, IV zu entnehmen. Bei gerippter Eisenfläche ist k etwa 25 % kleiner als für glatte Fläche zu setzen. Ueber die Werthe von G und c siehe siebentes Kapitel, Abschn. I.

Digitized by Google

In Gl. 26 ist vorausgesetzt, dass die Luftmenge an der Heizfläche gleichmässige Erwärmung von Δ_1 auf Δ_2 erfährt; thatsächlich erwärmt sich aber stets die die Heizfläche unmittelbar berührende Luft auf eine höhere Temperatur als Δ_2 und erst durch Mischen mit der übrigen Luft erhält die gesammte Luftmenge die Temperatur Δ_2. Bei Heizkörpern, die am Fusse des Abluftschachts aufgestellt werden, kann dieser Umstand unberücksichtigt bleiben, nicht aber ist dies bei einer im Abluftkanale gleichmässig vertheilten Heizfläche (Standrohr, Schornstein) zu empfehlen. Jedenfalls ist durch Einschaltung von Ablenkungsvorrichtungen in dem Abluftkanale für ein schnelles Mischen der wärmeren und kühleren Luft Sorge zu tragen, ausserdem ist aber anzurathen, den besagten Umstand auch in der Rechnung zu berücksichtigen und in den bezeichneten Fällen unmittelbar die zur Erwärmung gelangende Luftmenge geringer, die Temperatur Δ_2 aber daher entsprechend höher anzunehmen. Bezeichnet man die höhere Temperatur mit Δ_3, so muss sein, wenn der Werth für W in der früheren Gl. 24 sich nicht ändern soll:

$$n(\Delta_2 - \Delta_1) = \Delta_3 - \Delta_1,$$

also

$$\Delta_3 = n\Delta_2 - \Delta_1(n-1),$$

sofern angenommen wird, dass nur der $n$te Theil der Luft an der Heizfläche unmittelbare Erwärmung findet. Auf die frühere Gl. 24 hat diese Annahme keinen Einfluss, wohl aber auf Gl. 26, die alsdann übergeht in die andere:

$$W = Fk\left(\frac{\vartheta_1 + \vartheta_2}{2} - \frac{\Delta_1(2-n) + n\Delta_2}{2}\right). \qquad (27)$$

Diese Gleichung ist also anstatt Gl. 26 bei Anwendung einer im Abluftkanale gleichmässig vertheilten Heizfläche (Standrohr, Schornstein) in Anwendung zu bringen. In der Regel wird man Sicherheit erzielen, wenn man $n = 1{,}5$ setzt.

Mit Hilfe der 3 Gleichungen 24, 25, 27 lassen sich nun jederzeit W und da Δ_1 immer gegeben sein wird von den Grössen Δ_2, ϑ_1, ϑ_2, F noch zwei berechnen, die übrigen müssen durch die Aufgabe gegeben sein.

Bei Erwärmung der Abluft durch die Wärme der abziehenden Rauchgase einer anderen Zwecken dienenden Feuerungsanlage hängt von dem Betriebserfordernisse derselben der Effekt der Lüftungsanlage ab (s. S. 39). Soll bei Einstellung oder Verringerung des Betriebs der Feuerungsanlage trotzdem der Lüftungseffekt durch Erwärmen der Abluft gesichert bleiben, so macht sich eine besondere Feuerung (sogenannte Sommerfeuerung) nöthig, deren Rauchgase in der Regel dem eisernen Rauchrohre behufs der erforderlichen Erwärmung desselben zugeführt werden. Für die Rauchgase dieser Sommerfeuerung

Digitized by Google

ist stets das Rauchrohr zu weit, insofern dieselben wärmer in den Schornstein eintreten, als die ausgenutzten der Hauptfeuerung. Um Zugstörungen zu vermeiden, empfiehlt es sich, das Brennmaterial der Sommerfeuerung mit einem entsprechenden Luftüberschusse zu verbrennen, um dadurch die bei der Hauptfeuerung vorgesehene Ein- und Austrittstemperatur der Rauchgase annähernd erzielen zu können. Bedeutet

p die Menge Brennmaterial in kg, welche die vorhandene Feuerungsanlage stündlich bei der niedrigsten Aussentemperatur erfordert,

p' die Menge Brennmaterial in kg, welche die Sommerfeuerung benöthigt,

t_0 die Temperatur der Luft, die als Ueberschuss in das Rauchrohr geschickt wird, also meist die Temperatur im Heizraume,

ϑ' die Temperatur, mit der die Heizgase die Sommerfeuerung ohne Luftüberschuss verlassen würden (etwa 1000°),

Q die Luftmenge in kg von der Temperatur t_0, die als Ueberschuss der Sommerfeuerung zugeschickt werden soll,

so muss zunächst:

$$Q = G(p - p')$$

sein.

Die Wärme der Heizgase der Hauptfeuerung ist $Gpc\vartheta_1$, diese soll gleich der Wärme der Abgase der Sommerfeuerung sein. Die Wärme der Rauchgase der Sommerfeuerung ist $Gp'c\vartheta'$, die in der zugeführten Luft enthaltene Wärme $0{,}237\,Qt_0$, folglich ergiebt sich der Ausdruck:

$$Gpc\vartheta_1 = Gp'c\vartheta' + 0{,}237\,Qt_0,$$

woraus unter Einsetzung des Werthes von Q folgt:

$$p' = \frac{p(c\vartheta_1 - 0{,}237\,t_0)}{c\vartheta' - 0{,}237\,t_0}. \qquad (28)$$

Beispiele für Bestimmung der Ablufttemperatur.

Fall 1. *Die Temperatur Δ_2 der Abluft nach der Erwärmung kann unmittelbar gewählt werden.*

Beispiel 1. Lüftung eines Gebäudes unter Erwärmung der Abluft am Fusse eines gemeinsamen Abluftschachts. Der Querschnitt des Abluftschachts und die Temperatur der Abluft können gewählt werden.

Aufgabe. Es beträgt der gesammte stündliche Luftwechsel in den zu lüftenden Räumen, deren Temperatur $t = 20°$ ist, 5440 cbm. Die Luft tritt mit Raumtemperatur in den Abluftschacht ein, so dass $\Delta_1 = 20°$ ist. Eine Abkühlung der Luft im Schachte findet nicht statt, so dass $\Delta = \Delta_2$ wird.

Lösung der Aufgabe. Als Heizfläche zur Erwärmung der Abluft werde ein Dampfheizkörper angeordnet. Nach dem Gesagten (s. S. 42) möge $\Delta = \Delta_2 = 25°$ gewählt werden. Die zur Erwärmung der Abluft erforderliche Wärmemenge ist dann nach Gl. 24:

Digitized by Google

$$W = \frac{0{,}306 \cdot 5440}{1 + \alpha 20}(25 - 20) = 7757\ WE.$$

Kann der Abluftschacht aus baulichen Rücksichten keinen so grossen Querschnitt erhalten, als sich bei 25° Ablufttemperatur ergiebt, so muss diese gesteigert werden; für jeden Grad höherer Erwärmung sind 1551,44 *WE* erforderlich, für die sich die Kosten leicht ausrechnen lassen. Auch die Grenze ist leicht zu bestimmen, bei der Ventilatorbetrieb der Erwärmung vorzuziehen ist.

Wird als Heizfläche zur Erwärmung der Abluft ein eiserner Ofen und $\Delta = \Delta_2 = 40°$ gewählt, so ist:

$$W = \frac{0{,}306 \cdot 5440}{1 + \alpha 20}(40 - 20) = 31029\ WE.$$

Beispiel 2. Lüftung eines Gebäudes unter Erwärmung der Abluft im gemeinsamen Abluftschachte durch eine vom Fusse des Schachtes bis auf eine bestimmte Höhe gleichmässig vertheilte Heizfläche. Der Querschnitt des Abluftschachtes und die Temperatur der Abluft können gewählt werden.

Aufgabe. Es beträgt wie im vorigen Beispiele $L = 5440$ cbm, $t = 20°$, ebenso $\Delta_1 = 20°$, auch sei die mittlere Temperatur, d. h. Δ wie im vorigen Beispiele 25°. Eine Abkühlung der Abluft im Schacht findet nicht statt; der Schacht selbst hat eine Höhe von 17 m.

Lösung der Aufgabe. Als Heizfläche zur Erwärmung der Abluft möge eine gleichmässig bis auf 10 m Höhe vom Fusse des Schachtes an gerechnet vertheilte Dampfrohrleitung (Standröhren) dienen. Da als mittlere Schachttemperatur $\Delta = 25°$ (wie im vorigen Beispiel) vorgeschrieben worden ist, so ist zunächst die Endtemperatur der Abluft Δ_2 aus dem Ausdrucke 23 zu berechnen. Nach demselben wird: $25 = \Delta_2 - \frac{\Delta_2 - 20}{2} \cdot \frac{10}{17}$, da $h = 17$ und $h_1 = 10$ m der Aufgabe gemäss zu setzen ist. Es berechnet sich alsdann:

$$\Delta_2 \sim 27°$$

und

$$W = \frac{0{,}306 \cdot 5440}{1 + \alpha 20}(27 - 20) = 10860\ WE.$$

Die Bestimmung der Heizflächengrösse gehört unter das Kapitel: „Heizung". Wird, wie im zweiten Theil des vorigen Beispiels, statt Dampfheizfläche Feuerheizfläche, aber in Gestalt eines eisernen den ganzen Schacht durchziehenden Rauchrohres gewählt und $\Delta = 30°$ gesetzt, so berechnet sich, da $h_1 = h = 17$ ist, aus Gl. 23:

$$\Delta_2 = 40°$$

und somit aus Gl. 24:

$$W = \frac{0{,}306 \cdot 5440}{1 + \alpha 20}(40 - 20) = 31029\ WE.$$

Es geht aus den Beispielen 1 und 2 hervor, wie wichtig das Bestreben ist, die Heizfläche möglichst am tiefsten Punkte des Abluftkanals zu vereinigen, eiserne Schornsteine, lediglich zur Erwärmung der Abluft, nicht in Anwendung zu bringen.

Fall 2. *Die Temperatur Δ_2 der Abluft nach der Erwärmung kann für Bestimmung des Querschnitts des Abluftkanals nur mittelbar gewählt werden, d. h. sie hängt von einer gegebenen Heizfläche mit bestimmter Leistungsfähigkeit ab.*

Beispiel 3. Lüftung einer Küche unter Erwärmung der Abluft durch die abziehenden Rauchgase des Küchenherdes.

Digitized by Google

Aufgabe. Die Wärme abgebende Schornsteinwand besteht aus glatten gusseisernen Platten, die gleichzeitig die Begrenzung des Abluftkanals bilden (s. Fig. 3). Die Menge der im Küchenherde stündlich zu verbrennenden Steinkohle beträgt $p = 6$ kg, die Höhe des Schornsteins $h = 16$ m, die Breite der eisernen Schornsteinwange $a = 0{,}2$ m, also die Wärme abgebende Schornsteinfläche $F = 16 \times 0{,}2 = 3{,}2$ qm. Es soll die Temperatur, mit der die Rauchgase des Küchenherdes in den Schornstein treten, in Anbetracht dass dieselben noch zur Erwärmung der Abluft ausreichen müssen, $\vartheta_1 = 250°$ gesetzt werden; die Herdfeuerung ist unter Berücksichtigung dieses Umstandes konstruirt. Der Schornsteinquerschnitt beträgt 0,04 qm.

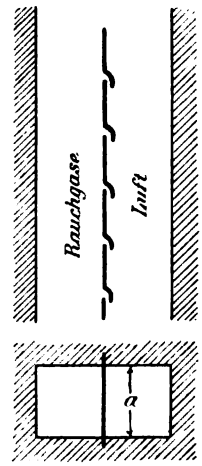


Fig. 3.

Lösung der Aufgabe. Da F gegeben ist, müssen W, Δ_2 und ϑ_2 berechnet werden. Es kommen hierfür die Gleichungen 24, 25 und 27 in Betracht. Zur Entnahme des Transmissionskoefficienten k für Gl. 27 aus der Tabelle 13, IV ist es nöthig, die kleinste Geschwindigkeit der Rauchgase im Schornsteine zu kennen. Da 1 kg Steinkohlen bei doppelter theoretischer Luftmenge 16,88 cbm Rauchgase von 0° entwickeln, die mittlere Temperatur der Rauchgase im Schornsteine zu mindestens 200° geschätzt werden kann, der Schornsteinquerschnitt 0,04 qm beträgt, so ist die geringste Geschwindigkeit im Schornsteine nach Gl. 84 zu setzen:

$$v = \frac{16{,}88 \cdot 6\,(1 + \alpha\,200)}{3600 \cdot 0{,}04} = 1{,}22 \text{ m}.$$

Da die Temperaturdifferenz zwischen den Rauchgasen und der zu erwärmenden Luft mehr als 60° beträgt, so ist nach Tabelle 13, IV zu setzen: $k \sim 3$.

Wird ferner in Gl. 27 noch $n = 1{,}5$ angenommen, so ergiebt sich nach Einsetzung der bekannten Werthe aus

Gl. 24: $$W = \frac{0{,}306 \cdot 500}{1 + \alpha 20}(\Delta_2 - 20) = 142{,}6\,\Delta_2 - 2852, \qquad (a)$$

Gl. 25: $$W = 22{,}3 \cdot 6 \cdot 0{,}245\,(250 - \vartheta_2) = 8195 - 32{,}78\,\vartheta_2, \qquad (b)$$

Gl. 27: $$W = 3{,}2 \cdot 3\left(\frac{250 + \vartheta_2}{2} - \frac{0{,}5 \cdot 20 + 1{,}5\,\Delta_2}{2}\right) = 1152 + 4{,}8\,\vartheta_2 - 7{,}2\,\Delta_2, \qquad (c)$$

Gl. a = Gl. b gesetzt giebt: $$337 = \vartheta_2 + 4{,}35\,\Delta_2, \qquad (d)$$

Gl. b = Gl. c gesetzt giebt: $$187{,}4 = \vartheta_2 - 0{,}1915\,\Delta_2. \qquad (e)$$

Durch Subtraktion der Gl. e von Gl. d folgt:

$$149{,}6 = 4{,}5415\,\Delta_2,$$

woraus sich ergiebt:

$$\Delta_2 = 32{,}94 \sim 33°.$$

Diesen Werth in Gl. d oder e eingesetzt, folgt:

$$\vartheta_2 = 193{,}7 \sim 194°,$$

und alsdann aus einer der 3 Grundgleichungen:

$$W = 1845\,WE.$$

Es ist somit:

die mittlere Temperatur im Abluftkanale $\Delta = \frac{20 + 33}{2} = 26{,}5°$,

die mittlere Temperatur im Schornsteine $\vartheta = \frac{194 + 250}{2} = 222°$,

Digitized by Google

die mittlere Wärmeabgabe eines Quadratmeters eiserner Schornsteinfläche

$$W_m = \frac{1845}{3{,}2} \sim 577\ WE.$$

Würde sich bei einer derartigen Berechnung ϑ_2 so niedrig ergeben haben, dass die Zugverhältnisse des Schornsteins in Frage gestellt erscheinen, so muss F kleiner angenommen oder aus schlechter leitendem Materiale hergestellt werden.

Beispiel 4. Lüftung eines Gebäudes unter Erwärmung der Abluft durch die Rauchgase einer Centralheizung und unter Einhaltung eines bestimmten Temperaturabfalls dieser Rauchgase.

Aufgabe. Es beträgt wie in Beispiel 1 und 2 der stündliche Luftwechsel $L = 5440$ cbm, gegeben in der Temperatur $t = 20°$. Die Abluft soll auf dem Dachboden des Gebäudes gesammelt und durch einen gemeinsamen Schacht über Dach geleitet werden. Zur Erwärmung der Abluft dient der Schornstein der Centralheizung, der auf dem Dachboden vom Abluftschachte umschlossen und auf dieser Strecke aus Gusseisen hergestellt werden soll. Der Schornstein hat die Rauchgase von stündlich 15 kg Steinkohle abzuleiten, und ist sein lichter Durchmesser von 0,30 m unter der Voraussetzung berechnet worden, dass die Rauchgase mit 250° in den Schornstein eintreten sollen und innerhalb des Abluftschachts keine grössere Abkühlung als auf 150° erfahren dürfen. Es ist anzugeben, auf welche Temperatur die Abluft erwärmt werden kann und welche Höhe der gusseiserne Theil des Schornsteins erhalten muss. Die Abkühlung der Rauchgase im gemauerten Theile des Schornsteins soll vernachlässigt werden, da der Abluftschacht als genügend geschützt vor Abkühlung anzusehen ist.

Lösung der Aufgabe. Nach der Aufgabe ist die Temperatur der Abluft vor der Erwärmung $\Delta_1 = 20°$, die Temperatur der Heizgase am Fusse des gusseisernen Theils des Schornsteins $\vartheta_1 = 250°$, am Ende desselben $\vartheta_2 = 150°$. Die stündlich zu verbrennende Menge Brennmaterial beträgt $p = 15$ kg Steinkohlen, dementsprechend ist G (s. Siebentes Kapitel) $= 22{,}3$, $G_1 = 16{,}88$ und die specifische Wärme der Rauchgase $c = 0{,}245$. Bei 1 cm Wandstärke des Schorn-steinrohres wird der äussere Durchmesser 0,32 m, daher hat 1 laufendes Meter Schornsteinrohr eine äussere, Wärme abgebende, Fläche von 1 qm.

Die zur Erwärmung der Abluft zur Verfügung stehende Wärme berechnet sich aus Gl. 25 zu:

$$W = 22{,}3 \cdot 15 \cdot 0{,}245\,(250 - 150) = 8195\ WE.$$

Die Endtemperatur der Abluft (Δ_2) dagegen ergiebt sich nun aus Gl. 24:

$$8195 = \frac{0{,}306 \cdot 5440}{1 + \alpha 20}(\Delta_2 - 20)$$

zu:

$$\Delta_2 = 25{,}28°.$$

Diesen Werth in Gl. 27 für die Wärmeabgabe des Schornsteinrohres eingesetzt, giebt für $n = 1{,}5$:

$$8195 = Fk\left(\frac{250 + 150}{2} - \frac{20\,(2 - 1{,}5) + 1{,}5 \cdot 25{,}28}{2}\right),$$

somit ist:

$$Fk = 46{,}55.$$

Für den Transmissionskoefficienten k dient Tabelle 13, IV. Die geringste Geschwindigkeit der Rauchgase im Schornsteine muss sein, da die mittlere Temperatur derselben 200°, der Schornsteinquerschnitt $f = 0{,}0707$ qm beträgt, gemäss der Gl. 84:

$$v = \frac{16{,}88 \cdot 15\,(1 + \alpha 200)}{3600 \cdot 0{,}0707} = 1{,}72\ \text{m}.$$

Digitized by Google

Bei glatter Schornsteinfläche wird somit k mit genügender Sicherheit nach der Tabelle 13, IV zu 3,5, bei gerippter 25% niedriger, also zu rund 2,6 anzunehmen sein.

Bei glatter Fläche ist somit:

$$F = \frac{46{,}55}{3{,}5} = 13{,}3$$

und da 1 qm im vorliegenden Falle eine Länge von 1 m besitzt, die Höhe des gusseisernen Schornsteins:

$$h = 13{,}3 \text{ m}.$$

Beispiel 5. Lüftung eines Gebäudes unter Erwärmung der Abluft durch die Rauchgase einer Centralheizung auf eine vorgeschriebene Temperatur und Bestimmung der Temperatur der Rauchgase bei Eintritt in den Schornstein bei vorgeschriebener Endtemperatur derselben zur Berechnung der Feuerungsanlage und des Schornsteins.

Aufgabe. Wie im vorigen Beispiele beträgt $L = 5440$ cbm, $t = 20°$, also auch $\Delta_1 = 20°$. Die Endtemperatur der Abluft soll zu $\Delta_2 = 30°$ angenommen werden, die Endtemperatur der Rauchgase zu $\vartheta_2 = 100°$. Der Brennmaterialverbrauch betrage wie im vorigen Beispiele stündlich $p = 15$ kg Steinkohlen, somit ist wieder $G = 22{,}3$, $G_1 = 16{,}87$ und $c = 0{,}245$.

Lösung der Aufgabe. Da $\Delta_1 = 20°$, $\Delta_2 = 30°$, so ist die zur Erwärmung der Abluft zur Verfügung stehende Wärme nach Gl. 24 (s. a. zur Berechnung Tabelle 3):

$$W = \frac{0{,}306 \cdot 5440}{1 + \alpha 20}(30 - 20) = 15514.$$

Diese Wärme müssen die Rauchgase abgeben, somit ist nach Gl. 25:

$$15514 = 22{,}3 \cdot 15 \cdot 0{,}245\,(\vartheta_1 - 100),$$

also:

$$\vartheta_1 = 189{,}3 \sim 190°.$$

Die erforderliche Wärme abgebende Fläche des Schornsteins berechnet sich für $n = 1{,}5$ nach Gl. 27 aus dem Ausdrucke:

$$15514 = Fk\left(\frac{190 + 100}{2} + \frac{20\,(2 - 1{,}5) + 1{,}5 \cdot 30}{2}\right),$$

somit aus:

$$Fk = 132.$$

k ist nach Massgabe der Geschwindigkeit der Rauchgase der Tabelle 13, IV zu entnehmen. Für die Centralheizung ist daher zunächst der Schornsteindurchmesser unter der Annahme zu berechnen, dass für den Wärme abgebenden Theil des Schornsteins die Anfangstemperatur der Rauchgase 190°, die Endtemperatur 100° beträgt. Aus dem lichten Durchmesser ergiebt sich der äussere Durchmesser des eisernen Theils des Schornsteins, aus diesem der Umfang. Mit Hilfe der Gl. 84 ist die geringste Geschwindigkeit der Rauchgase zu berechnen, nach dieser der Koefficient k aus Tabelle 13, IV, sodann F und aus diesem endlich die Höhe des Wärme abgebenden Theils des Schornsteins zu bestimmen.

Beispiel 6. Die gleiche Aufgabe wie in Beispiel 5, nur soll die Lüftung für die höheren Aussentemperaturen durch eine Sommerfeuerung sichergestellt werden (s. S. 44).

Aufgabe. Im vorigen Beispiele war $p = 15$ kg. Die Temperatur ϑ', mit der die Heizgase die Sommerfeuerung ohne Luftüberschuss verlassen würden, sei 1000°, die Temperatur des Heizraums $t_0 = 15°$. Anzugeben ist die Menge Brennmaterial p', welche die Sommerfeuerung benöthigt.

Lösung der Aufgabe. Nach dem vorigen Beispiele ist zu setzen $p = 15$,

Digitized by Google

$c = 0{,}245$, $\vartheta_1 = 190$, und gemäss der Aufgabe: $t_0 = 15$, $\vartheta' = 1000$, somit ergiebt sich der Brennmaterialverbrauch für die Sommerfeuerung nach Gl. 28 zu:

$$p' = \frac{15\,(0{,}245 \cdot 190 - 0{,}237 \cdot 15)}{0{,}245 \cdot 1000 - 0{,}237 \cdot 15} = 2{,}67 \text{ kg}.$$

B) Druck- oder Saugeapparate.

(Siehe Tafel IV, V und VI.)

1. Apparate zur Nutzbarmachung des Winddrucks.

Im Allgemeinen kann mit der Kraft des Windes zur Erhöhung des Effekts bei Lüftungsanlagen nicht gerechnet werden, weil stets für den ungünstigsten Fall — also auch bei Windstille — der geforderte Luftwechsel erzielt werden muss. So haben die zur Zeit vorhandenen Konstruktionen, sofern dieselben zur Zuführung von Luft dienen (Pressköpfe) nur Werth, wenn der Effekt ein wechselnder sein darf oder wenn sie für bewegte Räume (Eisenbahnwagen, Schiffe) Anwendung finden. Auch für letztere, besonders für Schiffe, sind Pressköpfe nur bedingt zu empfehlen, da ihre Wirkung durch die Richtung und Stärke des Windes beeinflusst, häufig auch aufgehoben oder in eine negative verwandelt wird. Diejenigen Apparate, die für die gesicherte Abführung der Luft aus den Abluftkanälen in der Praxis vielfach und häufig ohne Zweck Benutzung finden (Sauger, Saugkappen, Deflektoren), sind nur als Abdeckung von solchen Kanälen anzuwenden, bei denen ein infolge Ablenkung des Windes an benachbarten Körpern hervorgebrachter und der Luftbewegung im Kanale entgegen wirkender Oberwind störenden Einfluss auf die Luftbewegung gewinnen kann. Diesen Oberwind für den Kanal in Unterwind umzusetzen, ist die Aufgabe der Deflektoren. Ist die Wirkung eines Kanals dadurch gehemmt, dass der Wind nur einen Ueberdruck auf die Kanalluft ausüben, aber keine nennenswerthe Bewegung der Luft aussen an der Kanalmündung hervorrufen kann, z. B. wenn die Mündung des Kanals (Schornsteins) tiefer liegt, als andere denselben unmittelbar einseitig und ungünstig begrenzende Gebäudetheile, so hat die Anordnung eines Deflektors keinen Zweck. Bewegung der äusseren Luft ist Bedingung für die Wirkung eines Deflektors. Bei Unter- oder horizontalem Winde ist die Saugkraft eines Kanals grösser, wenn keine Deflektoren vorhanden sind; für freistehende und durch die Umgebung nicht beeinflusste Kanäle (Schornsteine) sind daher Deflektoren unnöthig. Zum Schutze gegen Sonne, Regen und Schnee, wenn dieser überhaupt erforderlich erscheint, kann ein einfaches in entsprechender Entfernung von der Kanalmündung angebrachtes Dach dienen.

2. Ventilatoren.

a) Strahlapparate. Dieselben werden betrieben durch Druckwasser (Wasserleitung), Dampf oder Druckluft. Diejenigen mit Wasser-

Digitized by Google

betrieb bringen nur geringe Druckhöhen bei verhältnissmässig grossem Verbrauche an Wasser hervor und arbeiten meist nicht geräuschlos, so dass sie nur in seltenen Fällen Empfehlung verdienen.

Dampfstrahlapparate sind, da sich der Dampf mit der geförderten Luftmenge mischt, nur zum Absaugen zu gebrauchen und verursachen bedeutendes Geräusch, so dass dieselben nur in einzelnen Fällen des Gewerbebetriebes, nicht aber für Wohnräume u. s. w. Anwendung finden können. Druckluft-Strahlapparate bedingen Verfügung über Druckluft, sind daher bislang als beliebig anzuwendende Apparate nicht anzusehen. Bei Ausbreitung der Druckluftanlagen werden sie vielleicht einen bevorzugten Platz in der Reihe der Druck- und Sauge-apparate für Lüftungszwecke einnehmen. Auch zur Lüftung von Schiffsräumen sollten — was z. Z. noch nicht üblich — Druckluft-anlagen in Rücksicht gezogen werden.

Die von der Firma M. Lutzner & H. Gumtow gefertigten Wasser-Strahlapparate „Victoria" zeigen der Preisliste der Fabrik entsprechend folgende Leistung:

Durchmesser des Luftrohrs in mm	Luftmenge bei freiem Ausblasen in der Stunde in cbm	Durchmesser des Luftrohrs in mm	Luftmenge bei freiem Ausblasen in der Stunde in cbm
100	240	350	2000
150	350	400	2500
180	550	450	3000
200	750	500	4000
250	1000	600	5500
300	1500	750	9000

b) Schraubenventilatoren. Dieselben werden ausgeführt für Wasserbetrieb oder Maschinenbetrieb.

Die Schraubenventilatoren mit Wasserbetrieb (Aërophor von Seiler & Schwarz (vorm. Treutler & Schwarz), Kosmos-Ventilator von Schäffer & Walcker u. s. w.) werden durch die Kraft des Stosses unter Druck ausfliessenden Wassers bewegt. Bei den in den Preislisten als Lieferung angegebenen Luftmengen bei freiem Ausblasen ist die Druckhöhe eine sehr geringe, meist weniger, aber selten mehr als 0,4 m Luftsäule in Luft von 0^0; sie sind daher nur bei verhältnissmässig kurzen und im Querschnitte weiten Kanal-strecken anzuwenden. Passende Verwendung finden sie bei Abort-räumen, Küchen u. s. w., da in diesen Fällen das abfliessende Wasser noch zu weiteren Zwecken zu benutzen ist.

Zur Anschauung des Gesagten diene die Leistung des Druck-lüfters „Aërophor" von Seiler & Schwarz.

Digitized by Google

Durchmesser des Luftrohres in m	Stündliche Luftmenge in cbm	Wasserverbrauch von 3—4 Atm. in cbm
0,22	360— 400	0,08—0,10
0,32	700— 800	0,18—0,20
0,40	1100—1200	0,20—0,25
0,52	1500—1800	0,30—0,33
0,60	2000—2300	0,35—0,37
0,65	2500—3000	0,40—0,45
0,80	4500—5000	0,55—0,60

Schraubenventilatoren mit Maschinenbetrieb werden gefertigt in Durchmessern bis etwa 3 m und sind die für Lüftung der Gebäude am meisten angewendeten Ventilatoren, da sie den erforderlichen Druckverhältnissen fast immer gerecht werden können und sich bequem in die Kanäle einbauen lassen. Die Umfangsgeschwindigkeit soll möglichst nicht über 1500—1600 m in der Minute gesteigert werden, weil sonst leicht störendes Geräusch (Brummen) verursacht wird. Bauart verschieden. Zur Orientirung über die Grösse und Leistung dieser Ventilatoren mögen die den Preislisten entnommenen Angaben über einige in der Lüftungstechnik häufig angewendete Konstruktionen folgen.

Ventilatoren von G. Schiele & Co.

Flügeldurchmesser in m	Anzahl der Umdrehungen in der Minute	Umfangsgeschwindigkeit in der Minute in m	Druck in mm Wassersäule	Luftmenge bei freiem Ausblasen in der Stunde in cbm
0,20	1750—2500	1100—1571	2—4	600— 900
0,25	1400—2300	1100—1806	2—5	900— 1 500
0,30	1150—2000	1084—1885	2—6	1 380— 2 400
0,40	870—1500	1093—1885	2—6	2 100— 3 900
0,50	700—1200	1100—1885	2—6	3 600— 6 300
0,65	520— 900	1062—1838	2—6	6 600— 11 400
0,80	460— 800	1156—2011	2—6	9 600— 16 800
1,00	350— 600	1100—1885	2—6	15 600— 27 000
1,20	290— 500	1093—1885	2—6	22 500— 39 000
1,50	280— 400	1319—1885	2—6	34 200— 60 000
1,75	200— 350	1100—1924	2—6	48 000— 84 000
2,00	175— 300	1100—1885	2—6	60 000—128 000
2,35	150— 260	1107—1920	2—6	78 000—139 500
2,50	135— 230	1060—1806	2—6	96 000—171 000
2,75	125— 215	1080—1857	2—6	114 000—204 000
3,00	115— 200	1084—1885	2—6	138 000—249 000

Digitized by Google

Ventilatoren von Blackman.

Flügeldurchmesser in m	Auslassfläche in qm	Anzahl der Umdrehungen in der Minute	Umfangsgeschwindigkeit in der Minute in m	Luftmenge bei freiem Ausblasen in der Stunde in cbm
0,46	0,162	1000	1450	4 500
0,61	0,288	780	1500	8 240
0,92	0,651	520	1500	18 680
1,22	1,162	390	1500	33 170
1,53	1,822	310	1500	51 890
1,83	2,622	260	1500	74 880

c) Flügelventilatoren. Dieselben werden für Flügeldurchmesser bis etwa 1 m gefertigt. Die Umfangsgeschwindigkeit ist thunlichst nicht über 2500 m in der Minute zu steigern. Anwendung finden sie bei erforderlichen grösseren Druckhöhen, z. B. bei Schiffen, bei denen der Raumverhältnisse wegen mit Kanälen von möglichst kleinem Querschnitte, also mit grossen Luftgeschwindigkeiten gerechnet werden muss.

Ventilatoren von G. Schiele & Co.

Flügeldurchmesser in m	Ausblaseöffnung in m	Durchmesser der Saugeöffnung in m	Anzahl der Umdrehungen in der Minute	Umfangsgeschwindigkeit in der Minute in m	Luftmenge bei freiem Ausblasen in der Stunde in cbm
0,25	0,12 × 0,12	0,12	2800—3300	2200—2600	900— 1080
0,30	0,16 × 0,16	0,16	2300—2650	2170—2500	1680— 1920
0,38	0,20 × 0,20	0,20	1800—2150	2140—2560	2400— 2880
0,45	0,25 × 0,25	0,25	1600—1850	2260—2600	3600— 4200
0,60	0,33 × 0,33	0,33	1150—1350	2170—2550	6900— 8100
0,80	0,44 × 0,44	0,44	950—1100	2380—2760	13800—16200
1,00	0,55 × 0,55	0,55	600— 700	1880—2200	21000—24000

d) Anordnung der Ventilatoren. Die Ventilatoren für gemeinsame Luftbeförderung sind möglichst nicht vor, sondern hinter dem Filter bezw. der Staubkammer — entweder unmittelbar oder erst nach erfolgter Erwärmung der Luft in der Heizkammer — anzuordnen, damit die Lager u. s. w. der Ventilatoren dem Verschleissen durch Staub thunlichst entzogen werden. Die Anordnung der Ventilatoren hinter der Heizkammer hat den Vorzug, dass die Bedienung derselben in warmer Luft erfolgt.

Bei grossen Anlagen, bei denen eine Luftvertheilung vom Ventilator aus nach verschiedenen Seiten des Gebäudes stattfinden muss,

Digitized by Google

ist es zur Vermeidung störender Wirbel, Stösse u. s. w. der Luft zweckmässig, hinter dem Ventilator eine gegen Luft undurchlässige, nicht zu klein bemessene Druck- und Vertheilungskammer anzuordnen.

Die Betriebseinrichtungen des Ventilators müssen besonders bei grossen Anlagen gestatten, denselben mit verschiedener Umfangsgeschwindigkeit laufen zu lassen, um bei theilweiser Ausschaltung einzelner Räume von dem Lüftungsbetriebe einer ungünstigen Steigerung der Druckverhältnisse vorbeugen zu können. Zur Kontrolle der Druckverhältnisse sind geeignete Manometer (Differentialmanometer) hinter dem Ventilator (Druckkammer) zu empfehlen (s. S. 32).

e) Wahl der Grösse des Ventilators. Die mit der Ausführung von Lüftungsanlagen sich beschäftigenden Firmen fertigen in den seltensten Fällen die von ihnen verwendeten Ventilatoren, sondern beziehen sie von Sonderfabriken. Für die Wahl eines benöthigten Ventilators dienen Preislisten dieser Sonderfabriken, in denen die von der Fabrik geführten Grössen unter Angabe der Tourenzahl, der geförderten Luftmenge bei freiem Ausblasen, des Druckes der Luft beim Austritte aus dem Ventilator in m/m Wassersäule, des Kraftbedarfs u. s. w. verzeichnet sind. Ein Ventilator liefert je nach seiner Umdrehungszahl verschiedene Luftmengen, bei geringer Umdrehungszahl geringe Luftmengen mit geringem Drucke, bei grösserer Umdrehungszahl grössere Luftmengen mit erhöhtem Drucke. Das Folgende bezieht sich daher nur auf die richtige Wahl, nicht auf die eigentliche Berechnung eines Ventilators. Bezeichnet L_0 die in der Preisliste angegebene Luftmenge in cbm, die der Ventilator bei freiem Ausblasen in der Stunde liefert, t_0 die Temperatur dieser Luft, F den freien Querschnitt des Ventilators beim Austritte der Luft, v die Geschwindigkeit der Luft in diesem Querschnitte, so ist

$$v = \frac{L_0}{3600\,F}.$$

Die Geschwindigkeitshöhe H der Luft bei Austritt aus dem Ventilator ist:

$$H = \frac{v^2}{2g},$$

oder nach Einsetzen vorstehender Geschwindigkeit:

$$H = \frac{{L_0}^2}{3600^2\,F^2\,2g}.$$

Ist L die Luftmenge, welche die Lüftungsanlage erfordert, t die Temperatur, in der diese Luftmenge gegeben ist, M die wirksame, durch den Ventilator zu liefernde Druckhöhe für Luft von 0^0, so muss sein:

$$\frac{HL_0}{1+\alpha t_0} = \frac{ML}{1+\alpha t}.$$

Digitized by Google

Wird für H der soeben bestimmte Werth eingeführt, so ergiebt sich:

$$\frac{L}{1+\alpha t} = \frac{(0{,}01\,L_0)^3}{254\,F^2 M(1+\alpha t_0)}.$$

Ist in den Preislisten der Druck der Luft in n mm Wassersäule gegeben, so empfiehlt sich, nicht wie vorstehend zu verfahren, sondern diesen für Bestimmung der Geschwindigkeitshöhe H zu benutzen. Da der Druck von 1 mm Wassersäule gleich 1 kg/qm bedeutet, der Druck von 1 m Luftsäule gleich 1,293 kg/qm ist, so wird $H = \frac{n}{1{,}293} = 0{,}772\,n$ und somit:

$$\frac{L}{1+\alpha t} = \frac{0{,}772\,n L_0}{(1+\alpha t_0)\,M}.$$

In den seltensten Fällen ist die Temperatur t_0 der Luft bei freiem Ausblasen angegeben, für dieselbe kann unbedenklich 0 gesetzt werden. Die linke Seite der zwei Gleichungen stellt also die Luftmenge von 0^0 dar, die der in der Preisliste mit der Luftmenge L_0 bei freiem Ausblasen angegebene Ventilator für die betreffende Lüftungsanlage, d. h. bei der Druckhöhe M zu liefern vermag. Es ist also diejenige Grösse des Ventilators zu wählen, bei der sich ergiebt, wenn aus der Preisliste ausser der stündlichen Luftmenge bei freiem Ausblasen nur der Querschnitt der Ausblaseöffnung des Ventilators zu entnehmen ist:

$$\frac{L}{1+\alpha t} \leqq \frac{(0{,}01\,L_0)^3}{254\,F^2 M}, \qquad (29)$$

wenn aus der Preisliste ausser der stündlichen Luftmenge bei freiem Ausblasen nur der Druck der Luft in mm Wassersäule zu entnehmen ist:

$$\frac{L}{1+\alpha t} \leqq \frac{0{,}772\,n L_0}{M}. \qquad (30)$$

Diese beiden Ausdrücke vernachlässigen die inneren Widerstände des Ventilators bei den verschiedenen Druckhöhen, sie können daher auch nur als Anhalt dienen bei Wahl eines Ventilators nach den gewöhnlichen Preislisten der Sonderfabriken und sollen vor Anwendung eines zu kleinen Ventilators schützen.

f) Bestimmung der Betriebskraft eines Ventilators. Da eine Pferdestärke gleich 75 m kg/Sek. ist und L cbm Luft von der Temperatur t^0 bei 0^0 auf die Höhe M gehoben werden müssen, so stellt sich die Betriebskraft des Ventilators zu:

$$N = \frac{1{,}293\,L\,M}{75\,(1+\alpha t)\,3600\cdot\eta} = \frac{0{,}0000048\,L\,M}{(1+\alpha t)\,\eta}\,PS, \qquad (31)$$

wenn η den Wirkungsgrad des Ventilators bedeutet; derselbe ist meist

Digitized by Google

— je nach Ausführung — 0,25 bis 0,4 auch 0,5 zu setzen und von dem Verfertiger des Ventilators anzugeben.

Dient zum Betriebe des Ventilators eine Dynamomaschine, so ist dieselbe zweckmässig vor dem Strome der Kanalluft zu schützen, daher in einen Nebenraum zu legen und für den Ventilator Riemen- oder Seilbetrieb zu wählen.

g) Beispiel für Wahl der Grösse eines Ventilators und für Bestimmung der Betriebskraft.

Aufgabe. Ein Festsaal soll eine Pulsionslüftung erhalten. Es sind aus demselben 40000 cbm Luft von 23° zu entfernen, hierfür ist die vom Ventilator zu schaffende Druckhöhe in Luft von 0° zu 7,6 m (s. nächsten Abschnitt VI, 4) berechnet worden. Es soll ein Schiele'scher Schraubenventilator Verwendung finden.

Lösung der Aufgabe. Es ist gemäss der Aufgabe im Ausdrucke 29 zu setzen $L = 40000$, $t = 23$, $M = 7{,}6$ und muss somit sein:

$$\frac{40000}{1+\alpha 23} \leqq \frac{(0{,}01\, L_0)^3}{254\, F^2\, 7{,}6}.$$

Wählt man aus der Aufstellung der Schiele'schen Ventilatoren auf S. 52 probeweise einen Ventilator von 1,75 m Flügeldurchmesser, so ist bei diesem Ventilator der Durchmesser der Luftaustrittsöffnung gleich dem Flügeldurchmesser zu setzen, so dass also dann für die geringste Umfangsgeschwindigkeit sein müsste:

$$\frac{40000}{1+\alpha 23} \leqq \frac{(0{,}01 \cdot 48000)^3}{254 \cdot 2{,}405^2 \cdot 7{,}6}.$$

Die linke Seite dieses Ausdrucks giebt 36880, die rechte nur 9877, somit ist die Bedingung nicht erfüllt. Für die grösste in der Liste angegebene Umfangsgeschwindigkeit von 1924 m in der Minute genügt dagegen der Ventilator, da alsdann:

$$36880 < 52937$$

ist.

Es ist auf S. 52 empfohlen worden, die Umfangsgeschwindigkeit möglichst nicht über 1500—1600 m in der Minute zu steigern. Soll diese Bedingung erfüllt werden, so ist der nächst grössere Ventilator zu wählen, da dann die linke Seite des Ausdrucks 29 gleich der rechten wird, wenn sich L_0 zu rund 90000 stellt, also der Ventilator dann ungefähr die verlangten Umdrehungen zu machen hat.

Die Betriebskraft für den Ventilator stellt sich, wenn η zu 0,4 angenommen werden kann, nach Gl. 31:

$$N = \frac{0{,}0000048 \cdot 40000 \cdot 7{,}6}{(1+\alpha 23)\, 0{,}4} = 3{,}4\ PS.$$

VI. Kanäle.

(Siehe Tafel VII.)

1. Zuluftkanäle.

a) Anordnung der Zuluftkanäle. Von der Entnahmestelle aus ist die Luft durch die Staubkammer, Filter u. s. w. auf möglichst kurzem Wege nach der Heizkammer zu leiten. Der Eintritt in dieselbe und Führung durch dieselbe an dem Heizapparate vorüber hat

Digitized by Google

unter Berücksichtigung einer möglichst gleichmässigen Erwärmung der Luft zu erfolgen. Nach der Erwärmung findet in der Regel die Befeuchtung der Luft statt und alsdann die Abgabe derselben nach den einzelnen aufsteigenden Kanälen.

Bei Lüftung mittels Temperaturdifferenz ohne besondere Erwärmung der Abluft steht nur ein geringer Ueberdruck für Bewegung der Luft zur Verfügung, es müssen daher die aufsteigenden Kanäle möglichst in unmittelbarer Nähe der Heizkammer unter Decke derselben beginnen. Wie weit eine horizontale Führung der Luft von der Heizkammer nach den aufsteigenden Kanälen überhaupt statthaft ist, kann nur die Berechnung ergeben; folgt Führung nach Gutdünken, so kommt es häufig vor, dass weit abliegende Kanäle nicht nur von der Luftzufuhr ausgeschlossen bleiben, sondern rückläufige Bewegung der Luft bedingen. Liegt der Wunsch vor, weiter abliegende Räume an die Lüftung anzuschliessen, so kann derselbe mitunter dadurch erfüllt werden, dass die erforderliche horizontale Kanalführung nicht von der Heizkammer abzweigt, sondern in die Höhe des zu lüftenden Raumes verlegt wird, von der Heizkammer aus aber der steigende Kanal unmittelbar beginnt.

Soll die Möglichkeit erzielt werden, den einzelnen Räumen verschieden warme Luft zuführen zu können, so ist es am zweckmässigsten, die aufsteigenden Kanäle rückwärts zu verlängern, sie mit dem unter dem Heizapparate liegenden Kanale für Zuführung frischer Luft zu verbinden und mit einer ausserhalb der Heizkammer zu regelnden Wechselklappe zu versehen, die gestattet, nur erwärmte, kalte oder gemischte Luft in die Kanäle eintreten zu lassen.

Bei Saugelüftung unter besonderer Erwärmung der Abluft oder unter Anwendung von Exhaustoren, bezw. bei Drucklüftung steht für Bewegung der Luft ein grösserer Ueberdruck zur Verfügung, somit ist die Horizontalführung der Kanäle bei derartigen Anlagen nicht in so enge Grenzen gebannt. Es werden dann meist von der Heizkammer aus horizontale mit den aufsteigenden Kanälen in Verbindung stehende Vertheilungskanäle angeordnet.

Bei grösseren Anlagen wird zweckmässig vor Vertheilung der Luft zunächst hinter der Heizkammer noch eine Mischkammer angelegt, in der durch Einführen frischer Luft eine genaue Herstellung der erforderlichen Temperatur erzielt werden kann. Auf richtige Mischung der kalten und warmen Luft ist zu achten und diese Mischung durch geeignete Vorrichtungen herbeizuführen; wenn möglich trete die kalte Luft über der warmen in die Mischkammer ein.

Da die Kanalquerschnitte meist dem Mauermafse angepasst werden müssen, so entspricht die Ausführung nicht immer der genauen Berechnung. Zur Ausgleichung der unvermeidlichen Fehler empfiehlt sich, jeden aufsteigenden Einzelkanal an passender Stelle mit einer einfachen Regelungsvorrichtung zu versehen, die nach Fertigstellung

Digitized by Google

der Anlage mit Hilfe anemometrischer Messungen dem geforderten Effekte entsprechend unveränderlich eingestellt wird. Ausserdem hat noch jeder aufsteigende Einzelkanal eine vom zugehörigen Raume oder von einer sonst passenden Stelle aus beliebig regelbare Verschlussvorrichtung zu erhalten.

Alle Kanäle sind vor Wärmeübertragung thunlichst zu schützen, die aufsteigenden Kanäle möglichst senkrecht zu führen und in Mittel- oder Scheidewände zu legen. (Ueber die Wärmeverluste bei ausgedehnter Horizontalführung der Kanäle siehe Heizung, Abschnitt Luftheizung.)

b) Mündung der Zuluftkanäle und Einströmung der Luft in die Räume. Es sind 3 Fälle zu unterscheiden: die einströmende Luft ist kühler, gleich warm oder wärmer als die in dem zu lüftenden Raume befindliche. Im ersten Falle wird dieselbe — abgesehen von allen fehlerhaften Anordnungen, bei denen sie unmittelbar die Anwesenden treffen kann — um so leichter Belästigungen hervorrufen, je kühler sie ist und je niedriger die Einströmungsöffnung sich befindet, d. h. je mehr die Einströmung der Luft im Bereiche der Anwesenden liegt, im zweiten und dritten Falle kann sie durch das Mitreifsen von Raumluft Zugerscheinungen verursachen, wenn sie eine grofse Eintrittsgeschwindigkeit besitzt und die Einströmungsöffnung tief gelegen ist. Eine grofse Eintrittsgeschwindigkeit mufs an sich aber vortheilhaft erscheinen, da durch dieselbe eine rasche Vertheilung der Luft im Raume erfolgt und eine gleichmäfsigere Temperatur an allen Stellen des Raumes erzielt wird.

Allgemein ist daher als Grundsatz aufzustellen, dafs zur Vermeidung von Zugerscheinungen und zur Erzielung gleichmässiger Wärmevertheilung die Einströmung der Luft unter der Decke mit grofser Geschwindigkeit die vortheilhafteste Anordnung bildet.

Die grösste Geschwindigkeit der einströmenden Luft wird behufs Vermeidung störender Geräusche beim Durchgange durch Gitterverkleidungen nicht über 2—2,5 m anzunehmen sein.

Ueber die Durchführbarkeit des ausgesprochenen Grundsatzes ist Folgendes zu sagen.

Ist die Temperatur der einströmenden Luft niedriger als diejenige der Raumluft und handelt es sich nur um Beseitigung bezw. Ausgleich geringer Wärmemengen, so begegnet die Durchführung des Grundsatzes bei glatter Decke keinen Schwierigkeiten. Zur Vermeidung von Zugerscheinungen ist jedoch anzustreben, den Eintritt der Luft unmittelbar unter und etwas gegen die Decke selbst gerichtet stattfinden zu lassen, da alsdann die Luft an der Decke adhärirt und sich vor dem Herabsinken gleichmässig ausbreitet. Natürlich darf die Temperatur der Luft nicht unter den früher angegebenen Grenzen (s. S. 41) gewählt werden. Befinden sich in der Decke be-

Digitized by Google

deutende Vorsprünge (Unterzüge u. s. w.), so muss von dem Eintritte der Luft mit grosser Geschwindigkeit Abstand genommen werden, da sonst die Luft Ablenkung nach unten erfährt und hierdurch erst recht Zugerscheinungen hervorrufen kann. Alsdann wird bei verminderter Eintrittsgeschwindigkeit eine grössere Anzahl von Einströmungen erforderlich, um ein schnelles Mischen der eintretenden Luft mit der Raumluft zu sichern und ihr nicht zu gestatten, in geschlossenen Strömen nach unten zu fliessen.

Sind bedeutende Wärmemengen durch die Lüftung zu beseitigen, so gestaltet sich die Durchführung des ausgesprochenen Grundsatzes schwieriger. Die zu beseitigende Wärme kann durch die Anwesenden allein oder in Verbindung mit Beleuchtung hervorgerufen sein. Da die warme Luft naturgemäss das Bestreben hat, nach oben zu steigen, die kühlere nach unten zu sinken, so ist es an und für sich leichter, die Beseitigung von Wärme aus einem Raume durch Eintritt der kühleren Luft über Fussboden und Abzug der wärmeren unter Decke, also durch Bewegung der Luft von unten nach oben zu bewirken. Bei dieser Art Lüftung wird annähernd eine schichtweise Verschiebung der Luft nach oben eintreten. Die Schwierigkeit dieser Art der Lüftung bildet die zugfreie Einführung der kühleren Luft über Fussboden. Bei Lüftung der Räume von oben nach unten kann von schichtweiser Verschiebung der Luft nicht mehr die Rede sein, sondern die kühlere Luft wird infolge ihrer grösseren Dichte an vielen Stellen die wärmere durchbrechen und sekundäre auf- und absteigende Strömungen hervorrufen, die zu Zugerscheinungen Veranlassung geben können.

Es ist also vor der Wahl der Anordnung in jedem Falle eingehend zu erwägen, welche Art der Lufteinführung die grösste Sicherheit gegen Belästigung der Anwesenden durch Zugerscheinungen gewährt.

Wenn der Eintritt der Luft an der Decke in richtiger Weise angeordnet wird, lässt sich auch in vielen Fällen, besonders wenn sich in grösserer Höhe über Fussboden des Raumes (Logen) Menschen nicht aufzuhalten haben, Ein- und Austritt der Luft nach der Decke verlegen und hierdurch eine höhere, zugfreie und zweckentsprechende Lüftung erzielen. In der Praxis sollte diese vom Verfasser vielfach empfohlene Art der Lüftung mehr als bisher Beachtung finden. Natürlich müssen die Mündungen der Kanäle derartig angeordnet werden, dass die Zuluft nicht unmittelbar den Abluftkanälen zuströmen kann, sondern langsam und sich vertheilend vermöge ihrer grösseren Dichte nach unten sinkt, d. h. also, dass thatsächlich die Luft vom Eintritte bis zum Austritte den denkbar grössten Weg im Raume zu durchlaufen hat. Selbstverständlich kann diese Art der Lüftung, worauf nochmals ausdrücklich verwiesen werden soll, nur Anwendung finden, wenn die eintretende Luft eine geringere Temperatur als die Raumluft besitzt.

Digitized by Google

Ist die Temperatur der einströmenden Luft höher als diejenige der Raumluft, kommt also Lüftung und gleichzeitig Erwärmung in Frage, so ist es für die Durchwärmung der Räume an sich rathsam, die Luft möglichst tief, bei gleichmässiger Vertheilung über dem Fussboden mit geringer, bei seitlichem Eintritte mit grosser Geschwindigkeit einströmen zu lassen — allerdings darf eine Belästigung der Anwesenden durch die eintretende Luft in keiner Weise erfolgen.

Bei Räumen von mässiger Höhe, bei denen nur eine Einströmung vorgesehen werden soll, wird diese dann meist nicht unmittelbar über Fussboden, sondern erst etwa 2—2,5 m über demselben angeordnet werden können. Für Einführung kühlerer Luft bei eintretendem Bedarfe ist diese Ausführung aber dann nicht mehr zu benutzen, so dass bei Voraussicht eines solchen Bedarfes die Einströmung ebenfalls besser unter die Decke zu verlegen ist.

Bei grossen und voll besetzten Räumen, bei denen eine Erwärmung derselben hauptsächlich nur vor der Benutzung in Frage steht, hat die Anordnung unmittelbar über Fussboden liegender Einströmungsöffnungen meist keine Schwierigkeit, da dieselben nur für das Anheizen in Thätigkeit zu treten brauchen. Sind dieselben zur Einführung kühlerer Luft, weil Zugerscheinungen zu befürchten stehen, nicht zu verwenden, so empfiehlt sich, ausserdem noch lediglich zu Lüftungszwecken, Einströmungen unter der Decke vorzusehen, d. h. die Anlagen für Erwärmung und für Lüftung bezw. Kühlhaltung der Räume von einander zu trennen, wenn auch, soweit wie möglich, die Kanäle für beide Anlagen gemeinsam zu verwenden sind.

Die Geschwindigkeit der einströmenden Luft in der Nähe von Personen darf nur sehr gering sein. In einem geschlossenen Raume wird von manchen Personen ein Luftstrom mit 0,3 m Geschwindigkeit noch als sehr störende Belästigung empfunden, selbst wenn die Temperatur der Luft von der Temperatur der Raumluft gar nicht oder nur wenig abweicht.

2. Abluftkanäle.

a) Abströmung der Luft aus den Räumen. Im Allgemeinen ist anzunehmen, dass lediglich bei Lüftung der Räume die Abströmung in senkrechter Beziehung der Einströmung entgegengesetzt angeordnet werden soll. Entgegengesetzte Richtung findet auch oder erst recht statt, wenn die Zuleitung der kühleren und die Ableitung der wärmeren (verbrauchten) Luft in sachgemässer Weise an der Decke erfolgt (s. S. 59).

Für den Fall, dass Warmhaltung des Raumes in Frage steht, ist jederzeit unbeschadet der Höhe des Lufteintritts die Luft über Fussboden abzuleiten. Wenn bei Anwesenheit einer grossen Anzahl Personen oder infolge der Beleuchtung auch zeitweise Wärmeableitung

Digitized by Google

erforderlich ist, werden meist Luftableitungen sowohl am Fussboden, als an der Decke vorgesehen. Gewöhnlich stehen die zwei Ableitungen mit nur einem Kanale in Verbindung, häufig, besonders bei gewöhnlicher Gasbeleuchtung, ist aber auch getrennte Kanalführung erforderlich, um zu gleicher Zeit über Fussboden und unter der Decke Luftabnahme bewirken zu können (s. S. 17). Die Angabe in der Praxis, dass die unter der Decke befindlichen Abluftöffnungen hauptsächlich für Ableitung der Luft im Sommer („Sommerlüftung") bestimmt sind, entspringt einer unüberlegten Auffassung.

Die Abluftöffnungen sind möglichst vertheilt anzulegen und sofern Personen in der Nähe derselben sich aufzuhalten haben, so gross zu machen, dass die Luft eine ganz geringe Geschwindigkeit vor und in denselben annimmt (s. Zuluftkanäle).

Die Lage der Abluftöffnungen in Bezug auf die horizontale Ausdehnung des Raumes muss unter Berücksichtigung der Luftbewegung im Raume bestimmt werden.

Bei Anordnung nur eines Zuluft- und Abluftkanals können beide Kanäle in derselben Mittelwand untergebracht werden. Bei Anordnung mehrerer Zuluft- und Abluftkanäle ist eine möglichste Vertheilung selbstverständlich anzustreben, doch sorgen für die gleichmässige Beschaffenheit der Luft im Raume hauptsächlich die verschiedenen und stets vorhandenen, der Beobachtung und Berechnung sich entziehenden sekundären Luftströme, sowie die Diffusion der Luft.

b) Führung der Kanäle für Abluft. An die Abluftöffnungen schliessen sich zunächst jederzeit kürzere oder längere Einzelkanäle, die entweder für sich oder gesammelt mit der Aussenluft in Verbindung gebracht werden.

Die Einzelverbindung mit der Aussenluft hat stattzufinden, wenn mit Strenge jede Schallübertragung vermieden werden muss (Untersuchungsgefängnisse u. s. w.), oder wenn bei einer durch zufällige Einwirkung ungünstiger Verhältnisse hervorgerufenen rückläufigen Bewegung der Luft in einem Kanale eine Uebertragung von Gerüchen (Aborte, Küchen), Krankheitserregern (Krankenräume) u. s. w. zu gewärtigen ist. Bei strenger Vermeidung von Schallübertragungen sind ausserdem die Mündungen benachbarter, d. h. nur durch eine Wange von einander getrennter Kanäle nicht unmittelbar neben einander anzuordnen. In der Regel werden in den angeführten Fällen die Einzelkanäle auf kürzestem Wege über Dach geführt und, sofern für die Sicherung des Effekts erforderlich, ein jeder am Fusse mit einer besondern Wärmequelle oder einem Exhaustor versehen.

Bei Sammlung der Luft ist es rathsam, den Einzelkanälen keine zu geringe Länge zu geben, um auch in diesem Falle störenden Schallübertragungen möglichst vorzubeugen und eine Beeinträchtigung des Effekts thunlichst zu hindern.

Kommt nur die Temperatur der Abluft der Räume für die

Digitized by Google

bewegende Kraft in Frage, so kann, unter Voraussetzung, dass der Dachraum in geeigneter Weise gelüftet wird, die Sammlung der Einzelkanäle in der Weise erfolgen, dass dieselben unter Dach ausmünden. Diese Anordnung hat den Vortheil, dass alle Kanäle stets unter gleichen Bedingungen bezüglich der Witterung stehen, den Nachtheil, dass sich an kalten Tagen Schweisswasser an dem Holzwerke des Dachwerkes niederschlagen und zur Fäulniss des Holzes Veranlassung geben kann, auch ist sie in manchen Städten (z. B. Berlin) baupolizeilich wegen Feuersgefahr verboten.

Dürfen die Kanäle nicht unter Dach ausmünden, ist aber gleichwohl die Luft gesammelt über Dach zu führen, so können sie in einen gegen die zu lüftenden Räume höher, gewöhnlich ebenfalls auf dem Dachboden liegenden horizontalen oder ansteigenden feuerfesten Sammelkanal, der durch einen aufsteigenden über Dach mündenden Schacht mit der Aussenluft in Verbindung steht, geleitet werden. Dieser Schacht kann zur Sicherung des Effekts am Fusse auch noch eine Wärmequelle oder einen Exhaustor erhalten. Diese Sammlung der Luft ist besonders bei Abluftkanälen von verhältnissmässig geringer Länge und verhältnissmässig grossen Querschnitten zu empfehen, zumal wenn mehrere einem einzigen grossen Raume (Saal, Theater) zugehören und von der Decke aus die Luft entnehmen sollen. Bei Einzelführung dieser Kanäle über Dach ist rückläufige Bewegung der Luft in dem einen oder andern derselben niemals ganz ausgeschlossen. Die Anordnung des gemeinsamen Schachtes hat in diesem Falle derartig zu erfolgen, dass die Druckverhältnisse der Luft in den sich vereinigenden Kanälen an der Vereinigungsstelle stets die gleichen sind. Wenn also von der Decke eines Raumes mehrere gleich weite Kanäle abgehen, so ist einem jeden die gleiche Weglänge bis zum Abluftschachte zu geben.

Bei Saugelüftung besteht, wenn bautechnisch möglich, kein Hinderniss, die Einzelkanäle auch fallend anzulegen; sie werden dann am besten durch gemeinsame möglichst im Keller liegende Sammelkanäle mit einem am Fusse entsprechend erwärmten bezw. mit Exhaustor versehenen Schachte in Verbindung gebracht. Bei Erwärmung ist der Schacht möglichst hoch, jedenfalls bis einige Meter über den First des Daches zu führen, bei Anwendung von Exhaustoren ist dies nicht erforderlich, nur ist darauf zu achten, dass Witterungsverhältnisse (Wind) keine störenden Einflüsse auf den Austritt der Luft ausüben können.

Steigende, von den zu lüftenden Räumen beginnende Einzelkanäle bedingen die Regelung durch Klappen u. s. w. an den Abluftöffnungen oder oberhalb derselben, fallende Einzelkanäle an den Abluftöffnungen oder unterhalb derselben. Letztere ermöglichen somit auch eine Regelung im Keller. Bei jeder Abluftanlage empfiehlt es sich, einen jeden Einzelkanal mit einer einfachen zweiten Regelungs-

Digitized by Google

vorrichtung zu versehen (s. Zuluftkanäle), die, später eingestellt, für alle Zeiten unveränderliche Stellung behält.

3. Ausführung der Kanäle.

Auf die Ausführung der Kanäle, besonders aller Zuluftkanäle, einschliesslich aller Staub-, Heiz-, Mischkammern u. s. w. ist grosse Sorgfalt zu verwenden. Soweit die Geschwindigkeiten der Luft und somit die Querschnitte gewählt werden können (und das ist meist bis auf die senkrechten Zu- und Abluftkanäle der Fall), sollen sie leicht zugänglich, begeh- oder doch beschlupfbar hergestellt, wenn möglich auch erhellt werden; auch die Möglichkeit leichter Reinigung der senkrechten Kanäle ist vorzusehen. Alle auf oder in dem Erdboden des Kellers liegenden Räume und Kanäle müssen unbedingt dicht gegen Grundluft und Grundwasser sein; die Heizkammern sind behufs Ueberwachung und Reinigung geräumig, die Wandungen derselben mit Luftschicht und die Decke aus doppelten Gewölben herzustellen, deren Luftschicht mit der Kellerluft in offene Verbindung zu bringen ist, damit der darüber liegende Fussboden nicht benachtheiligt und in demselben, so lange das Mauerwerk noch feucht ist, Schwammbildung nicht begünstigt wird.

Das Betreten der Heizkammern zu Zwecken des gewöhnlichen Betriebs muss ausgeschlossen bleiben, bei unmittelbar geheizten Apparaten darf die innere Reinigung derselben von Russ und Asche nur ausserhalb der Heizkammern bewirkt werden können. Die Wandungen aller Kammern und Kanäle sind glatt zu halten und nicht zu putzen, wenigstens nur mit einem von der Wärme nicht leidenden Putze zu versehen. Für gewöhnlich empfiehlt sich zur Herstellung Ziegelmauerwerk aus glattem und hartem, womöglich glasirtem Materiale mit engen, gut verstrichenen Fugen. Richtungsänderungen der Kanäle, die als wesentliche Widerstände gegen die Luftbewegung anzusehen sind, sollen in Bogen mit möglichst grossem Durchmesser, Querschnittsverengungen oder Erweiterungen allmählich erfolgen.

4. Berechnung der Kanäle.

Die Berechnung der Kanäle erstreckt sich auf Bestimmung der Querschnitte; die Querschnitte sind bekannt, sobald die Geschwindigkeit der Luft gegeben ist. Bei allen Lüftungsanlagen muss durch einen jeden Kanal eine bestimmte Luftmenge in der Sekunde hindurchfliessen, mithin ist für jeden Kanal eine bestimmte Geschwindigkeit erforderlich. Die Aufgabe der gesammten Anlage ist es, die in jedem Kanale erforderliche Geschwindigkeit zu erreichen. Wird eine geringere Geschwindigkeit erreicht als die erforderliche, so ist der nothwendige Luftwechsel nicht zu erzielen, wird eine grössere Geschwindigkeit erreicht, so gestaltet sich der Luft-

Digitized by Google

wechsel umfangreicher als nöthig, die Anlage und der Betrieb werden theurer.

Nach dem Gesagten zerfällt die Berechnung der Geschwindigkeit in den Kanälen in die erforderliche und erreichbare Geschwindigkeit.

a) Erforderliche Geschwindigkeit. Ist L die Luftmenge in cbm gegeben in der Temperatur t, die stündlich durch einen Kanal vom Querschnitte f in qm fliessen soll, so ist die erforderliche sekundliche Geschwindigkeit:

$$v = \frac{L}{3600 f}. \tag{32}$$

Hat die in t^0 gegebene Luftmenge L in dem Kanale die Temperatur t_1, so ist die erforderliche sekundliche Geschwindigkeit:

$$v_1 = \frac{L}{3600 f} \cdot \frac{(1 + \alpha t_1)}{(1 + \alpha t)}. \tag{33}$$

(Die Werthe von $\frac{1 + \alpha t_1}{1 + \alpha t}$ sind der Tabelle 2 zu entnehmen.)

b) Erreichbare Geschwindigkeit. *a)* Aufstellung der Gleichung. Die erreichbare Geschwindigkeit der Luft in einem Kanale hängt ab von dem Drucke, der zur Bewegung der Luft zur Verfügung steht, und von den Widerständen, die sich der Bewegung der Luft entgegenstellen.

Fall 1. Der einfachste Fall — der aber die Grundlage aller folgenden Betrachtungen bildet — ist ein einzelner vor Wärmeabgabe geschützter Kanal von gleichem Querschnitte und dichten Wandungen.

Da in der folgenden Entwicklung einige Sätze der mechanischen Wärmetheorie in Anwendung zu kommen haben, so mögen zunächst statt der gewöhnlichen Temperaturen und statt der Luftmengen in cbm die specifischen Volumina, d. h. die Volumina der Gewichtseinheit eingeführt werden. Von den Widerständen, die der Bewegung der Luft durch die körperliche Beschaffenheit der Kanäle entgegenstehen, ist ebenfalls zunächst abzusehen. Der Kanal wird durch Fig. 4 dargestellt. Es sei T_0 die absolute Temperatur der Aussenluft, T diejenige der Innenluft, h die Höhe, d. h. der senkrechte Abstand der Kanalmündungen bei A und B; T soll $> T_0$ sein. Die Luft besitze bei Eintritt in den Kanal (bei A) die Geschwindigkeit v_1, das specifische Volumen V_1 und die Spannung p_1; bei Austritt aus dem Kanale (bei B) seien die Werthe entsprechend v_2, V_2 und p_2.

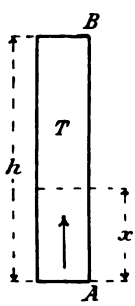


Fig. 4.

Betrachtet man im Kanale in der Entfernung x von A ein specifisches Volumen V von der Spannung p und nimmt mit demselben eine Elementaränderung vor, so gilt nach einem bekannten Satze aus der Mechanik die Differentialgleichung:

Digitized by Google

$$d\left(\frac{u^2}{2g}\right) + dx + d(pV) = p\,dv. \qquad (34)$$

Das erste Glied ist die Zunahme der lebendigen Kraft, das zweite die Arbeit der Schwere, das dritte — da die Arbeit, die dem Durchgange durch irgend einen Querschnitt entspricht, stets pV ist — die aus der Differenz der Grenzspannungen sich ergebende Arbeit. Die rechte Seite stellt die Arbeit der Expansion dar, dieselbe ist gleich der algebraischen Summe der anderen Arbeiten zu setzen. Ist nun Q die Wärmemenge, die bei einer Zustandsänderung einem kg eines Körpers zugeführt wird, A das Wärmeäquivalent der Arbeitseinheit, U die in einem kg eines Körpers enthaltene innere Arbeit, so gilt allgemein: $dQ = A(dU + p\,dV)$, mithin ist $p\,dV = \frac{dQ}{A} - dU$.

Die Temperatur der Luft im Kanale T soll als konstant angenommen werden, somit ist nach Massgabe des Zustandes eines Gases bei konstanter absoluter Temperatur $dU = 0$ und $\frac{Q}{A} = RTln\frac{p_1}{p_2}$ zu setzen. Nimmt man den Raum unter dem Kanale als unendlich gross, also die Luft als in Ruhe befindlich an, so ist für $x = 0 : v = 0$, $p = p_1$ und $V = V_1$, für $x = h : v = v_2$, $p = p_2$ und $V = V_2$ zu setzen und somit erhält man gemäss Gl. 34:

$$\frac{v_2^2}{2g} + h + (p_2V_2 - p_1V_1) = RTln\frac{p_1}{p_2}.$$

Es ist aber $p_1V_1 = p_2V_2$, da sowohl $p_1V_1 = R$ und $p_2V_2 = R$ zu setzen ist, somit ergiebt sich:

$$\frac{v_2^2}{2g} + h = RTln\frac{p_1}{p_2}. \qquad (35)$$

Diese Gleichung muss auch Gültigkeit haben für $T = T_0$, alsdann wird $v_2 = 0$ und somit ist:

$$h = RT_0ln\frac{p_1}{p_2}, \text{ woraus folgt: } Rln\frac{p_1}{p_2} = \frac{h}{T_0}.$$

Diesen Werth in Gl. 35 eingesetzt giebt:

$$\frac{v_2}{2g} = \frac{h(T - T_0)}{T_0}. \qquad (36)$$

Bei der im Vorstehenden gegebenen Entwicklung ist die Temperatur T als konstant angenommen worden. Es ist dies eigentlich nicht richtig, sondern es hätte der Fall, dass der Luft von aussen Wärme weder zu- noch abgeführt wird, zu Grunde gelegt, d. h. $dQ = 0$ gesetzt werden müssen. Der Fehler ist indess bei den geringen Druckdifferenzen p_1 und p_2, die in der Lüftungstechnik für häusliche An-

Digitized by Google

lagen infolge der geringen Höhen vorkommen, klein genug, um in Anbetracht, dass man zu einem so einfachen und für die Praxis bequemen Ausdrucke gelangt, vernachlässigt werden zu können. Wird demgemäss die Geschwindigkeit der Luft im Kanale gleich der Austrittsgeschwindigkeit gesetzt und nun mit v bezeichnet, werden ferner statt der absoluten wieder die gewöhnlichen Temperaturen t_0 und t eingeführt und die beiden Seiten der Gl. 36 mit einander vertauscht, so erhält man die Gleichung:

$$\frac{h}{1+\alpha t_0} - \frac{h}{1+\alpha t} = \frac{v^2}{2g(1+\alpha t)}. \qquad (37)$$

Da bei der Entwicklung die specifischen Volumina zu Grunde gelegt waren, so müsste unter der in der Praxis gewöhnlichen Annahme der Volumina lediglich in cbm die linke und rechte Seite dieser Gleichung mit dem Gewichte eines Kubikmeters Luft von 0^0 multiplicirt werden — die linke Seite, um den zur Verfügung stehenden Ueberdruck der Luft, die rechte Seite, um die der Luft ertheilte lebendige Kraft zu kennen. Wird die Multiplikation unterlassen, was in der Folge durchweg geschehen soll, so stellt die linke Seite der Gleichung nicht mehr die Differenz der Drücke, sondern die Differenz der Höhen der Luftsäulen, d. h. die Ueberdruckhöhe oder wirksame Druckhöhe, dar, und zwar, da die Höhe h mit der jeweiligen Dichte der Luft multiplicirt ist, ausgedrückt in Luft von 0^0, die rechte Seite der Gleichung dagegen nicht mehr die lebendige Kraft der Luft bei ihrem Austritte aus dem Kanale, sondern die Geschwindigkeitshöhe, d. h. die Höhe, auf welche die Luft nach ihrem Austritte aus dem Kanale im luftleeren Raume bei 0^0 gehoben würde.

Die Geschwindigkeit, die sich aus Gl. 37 für einen gegebenen Fall berechnen lässt, kann jedoch niemals erreicht werden, da der Luftbewegung die bislang noch unberücksichtigt gebliebenen Widerstände entgegen stehen. Diese Widerstände sind entweder in einem Kanale infolge der Reibung der Luft an den Wandungen gleichmässig vertheilt oder treten infolge Richtungsänderungen in der Bewegung der Luft, körperlicher Hindernisse durch Regelungsvorrichtungen u. s. w. vereinzelt auf. Zur Ueberwindung der Widerstände wird ein grosser Theil der zur Bewegung der Luft vorhandenen Ueberdruckhöhe aufgebraucht. Um die Grösse dieses Verlustes an Ueberdruckhöhe bestimmen zu können, sind naturgemäss die Widerstände in dem gleichen Mafse wie die Ueberdruckhöhe, d. h. in Metern einer Luftsäule bei 0^0 auszudrücken. Diese Luftsäule wird dann mit dem Namen der Widerstandshöhe belegt. Die Erfahrung lehrt, dass die Widerstandshöhe von der Geschwindigkeit der Luft abhängt, und zwar dass sie in gleicher Weise von dieser in Abhängigkeit gebracht werden kann, wie die Geschwindigkeitshöhe. Sie lässt sich also allgemein ausdrücken durch die Form $\frac{v^2}{2g(1+\alpha t)} Z$, wenn v die Geschwindig-

Digitized by Google

keit der Luft, t die Temperatur der Luft im Kanale und Z den durch Erfahrung gefundenen Werth der Widerstände bedeutet. Die Gleichung, aus der nun die wirklich erreichbare Geschwindigkeit berechnet werden kann, nimmt unter Berücksichtigung des Gesagten die Form an:

$$\frac{h}{1+\alpha t_0} - \frac{h}{1+\alpha t} = \frac{v^2}{2g(1+\alpha t)} + \frac{v^2}{2g(1+\alpha t)} Z =$$
$$= \frac{v^2}{2g(1+\alpha t)}(1+Z). \qquad (38)$$

Fall 2. Derselbe Kanal u. s. w. wie bei Fall 1, nur soll die kältere Luft t_0 im Kanale, die warme Luft t sich aussen befinden.

Die Ueberdruckhöhe muss die gleiche wie im Falle 1 bleiben, die Geschwindigkeits- und Widerstandshöhe ist nur wie stets — worauf ganz besonders aufmerksam gemacht wird — in der denselben zukommenden Temperatur auszudrücken. Die Gleichung lautet somit:

$$\frac{h}{1+\alpha t_0} - \frac{h}{1+\alpha t} = \frac{v^2}{2g(1+\alpha t_0)}(1+Z). \qquad (39)$$

Fall 3. Derselbe Kanal u. s. w. wie bei Fall 1, nur soll die Luft in den Kanal mit t_0 eintreten und erst im Kanale allmählich auf t^0 erwärmt werden.

Die mittlere Temperatur im Kanale sei $\frac{t_0+t}{2} = t_m$, die mittlere Geschwindigkeit der Luft v_m; somit gilt die Gleichung, da die Geschwindigkeitshöhe in der Temperatur der austretenden Luft, die Widerstandshöhe bei gleichmässiger Vertheilung der Widerstände in der mittleren Temperatur der Luft ausgedrückt werden muss:

$$\frac{h}{1+\alpha t_0} - \frac{h}{1+\alpha t_m} = \frac{v^2}{2g(1+\alpha t)} + \frac{v_m^2}{2g(1+\alpha t_m)} Z. \qquad (40)$$

Bei gleichbleibender Luftmenge und bei gleichem Querschnitte des Kanals verhalten sich die Geschwindigkeiten umgekehrt wie die Dichten, also $v : v_m = \frac{1}{1+\alpha t_m} : \frac{1}{1+\alpha t}$. Hieraus ergiebt sich: $v_m = \frac{v(1+\alpha t_m)}{1+\alpha t}$ und der Uebergang obiger Gleichung in die andere:

$$\frac{h}{1+\alpha t_0} - \frac{h}{1+\alpha t_m} = \frac{v^2}{2g(1+\alpha t)}\left(1 + \frac{1+\alpha t_m}{1+\alpha t} Z\right). \qquad (41)$$

Fall 4. Der Kanal im Falle 1 ist gebrochen und besteht aus einem horizontalen und einem vertikalen Theile.

Digitized by Google

Die Gleichung bleibt genau dieselbe wie bei Fall 1, sofern die Temperatur t durchweg dieselbe bleibt. Ist dagegen, wie Fig. 5 andeutet, die Temperatur in dem horizontalen Theile des Kanals t_1, die Geschwindigkeit v_1, die Widerstände Z_1, so ändert sich, wenn auch $t_1 > t_0$ ist, Gl. 38 insoweit, als die Widerstandshöhe eine andere wird. Die Geschwindigkeitshöhe kommt nur bei Austritt der Luft aus dem Kanale in Frage, sie bleibt also dieselbe; desgleichen ist mit derselben Ueberdruckshöhe zu rechnen, da in dem horizontalen Kanaltheile kein Ueberdruck herrschen kann, insofern die Höhe in demselben $= 0$ zu setzen ist. Die Gleichung lautet demgemäss:

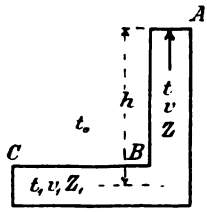


Fig. 5.

$$\frac{h}{1+\alpha t_0} - \frac{h}{1+\alpha t} = \frac{v^2}{2g(1+\alpha t)}(1+Z) + \frac{v_1^2}{2g(1+\alpha t_1)} Z_1. \quad (42)$$

Fall 5. Derselbe Kanal wie bei Fall 5, nur bestehe der Gesammtkanal aus zwei horizontalen und einer vertikalen Theilstrecke, eine jede mit einer anderen Temperatur; t_2 sei ebenfalls $> t_0$.

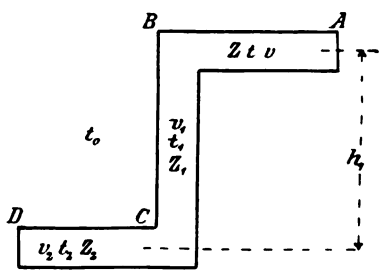


Fig. 6.

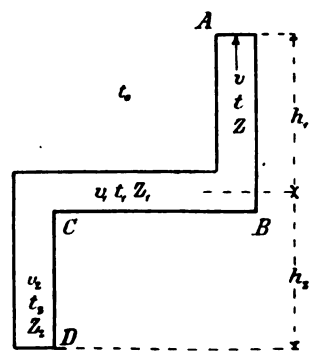


Fig. 7.

Entsprechend Fall 4 lautet die Gleichung:

$$\frac{h_1}{1+\alpha t_0} - \frac{h_1}{1+\alpha t_1} = \frac{v^2}{2g(1+\alpha t)}(1+Z) + \frac{v_1^2}{2g(1+\alpha t_1)} Z_1 + \\ + \frac{v_2^2}{2g(1+\alpha t_2)} Z_2. \quad (43)$$

Fall 6. Derselbe Kanal wie bei Fall 5, nur sei die Lage der drei Theilstrecken eine andere, d. h. der Kanal bestehe aus zwei vertikalen und einer horizontalen Theilstrecke, wie dies, ebenso wie die Bezeichnungen, aus Fig. 7 hervorgeht.

In diesem Falle werden durch die Höhen h und h_2 Ueberdruckhöhen gebildet, so dass die Gleichung lautet:

Digitized by Google

$$\left(\frac{h}{1+\alpha t_0}-\frac{h}{1+\alpha t}\right)+\left(\frac{h_2}{1+\alpha t_0}-\frac{h_2}{1+\alpha t_2}\right)=\frac{v^2}{2g(1+\alpha t)}(1+Z)+$$
$$+\frac{v_1^2}{2g(1+\alpha t_1)}Z_1+\frac{v_2^2}{2g(1+\alpha t_2)}Z_2. \quad (44)$$

Fall 7. Derselbe Kanal wie bei Fall 6, nur dass die Luft in einer vertikalen Theilstrecke eine fallende Bewegung annehmen muss, trotzdem in derselben die Temperatur $> t_0$ ist (s. Fig. 8).

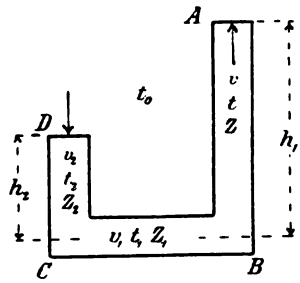


Fig. 8.

In diesem Falle herrscht in der Theilstrecke CD ebenfalls eine Ueberdruckhöhe, die aber der Luftbewegung nicht förderlich, sondern hinderlich ist, da die Ueberdruckhöhe infolge des Umstandes, dass $t_2 > t_0$ ist, an und für sich der Luft eine steigende Bewegung ertheilen will. Diese Ueberdruckhöhe vermindert somit die Wirkung der durch die Theilstrecke AB gebildeten und muss daher negativ in Rechnung gesetzt werden. Die Gleichung lautet alsdann:

$$\left(\frac{h}{1+\alpha t_0}-\frac{h}{1+\alpha t}\right)-\left(\frac{h_2}{1+\alpha t_0}-\frac{h_2}{1+\alpha t_2}\right)=\frac{v^2}{2g(1+\alpha t)}(1+Z)+$$
$$+\frac{v_1^2}{2g(1+\alpha t_1)}Z_1+\frac{v_2^2}{2g(1+\alpha t_2)}Z_2. \quad (45)$$

Fall 8. Derselbe Kanal wie bei Fall 6, nur sei die mittlere horizontale Theilstrecke BC so gross in ihrem Querschnitte, dass deren Höhe — im Gegensatze zu gewöhnlichen Kanälen — nicht vernachlässigt werden kann, dass aber die Luft sich in derselben mit einer so geringen Geschwindigkeit und der genauen Kenntniss sich entziehenden Art und Weise bewegt, um sie unbedenklich $= 0$ setzen zu können (s. Fig. 9). Wenn in der Theilstrecke BC die Geschwindigkeit der Luft $= 0$ gesetzt wird, so ist stillschweigend der Querschnitt der Theilstrecke BC, d. h. der Raum der Theilstrecke unendlich gross angenommen worden. Es findet somit bei Austritt der Luft aus Theilstrecke CD derselbe Fall statt, als bei Austritt der Luft bei A. Es wird also sowohl

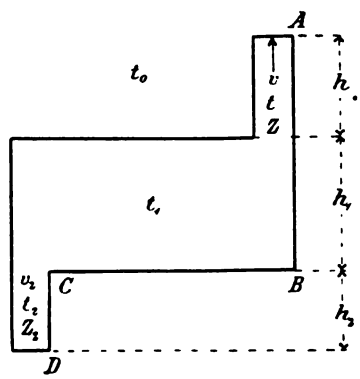


Fig. 9.

Digitized by Google

bei der Mündung A als bei der Mündung C die Geschwindigkeitshöhe zum Ausdrucke kommen müssen. Die Widerstandshöhe in der Theilstrecke BC dagegen kommt in Wegfall, da die Geschwindigkeit $= 0$ ist. Die Gleichung lautet somit:

$$\left(\frac{h}{1+\alpha t_0} - \frac{h}{1+\alpha t}\right) + \left(\frac{h_1}{1+\alpha t_0} - \frac{h_1}{1+\alpha t_1}\right) + \left(\frac{h_2}{1+\alpha t_0} - \frac{h_2}{1+\alpha t_2}\right) =$$

$$= \frac{v^2}{2g(1+\alpha t)}(1+Z) + \frac{v_2^2}{2g(1+\alpha t_2)}(1+Z_2). \quad (46)$$

Aus den bisherigen Fällen geht Folgendes hervor:

Die durch die linke Seite der Gleichung dargestellte Ueberdruckhöhe oder wirksame Druckhöhe ist aus der algebraischen Summe aller durch die einzelnen Theilstrecken gegebenen Ueberdruckhöhen zu bilden. Die Ueberdruckhöhe einer Theilstrecke ist positiv, wenn bei kälterer Aussenluft die Innenluft eine steigende Bewegung, bei wärmerer Aussenluft die Innenluft eine fallende Bewegung besitzt, in den entgegengesetzten Fällen ist sie negativ. Die rechte Seite der Gleichung wird durch die Summe der stets positiven Geschwindigkeits- und Widerstandshöhen gebildet. Geschwindigkeitshöhen sind nur dann in Ansatz zu bringen, wenn die Luft ins Freie oder in so grosse Räume ausmündet, in denen die Geschwindigkeit der Luft $= 0$ zu setzen ist. Geschwindigkeitshöhen sind stets in der Geschwindigkeit der Luft bei der Mündung des Kanals und in der daselbst herrschenden Lufttemperatur, Widerstandshöhen in der Geschwindigkeit der Luft im Kanale und in der daselbst herrschenden Lufttemperatur auszudrücken.

Fall 9. Der Kanalzug in Fall 5—8 ist als ein ungetrenntes Ganzes behandelt worden. Es hindert nichts, denselben beliebig zu theilen und jeden Theil für sich zu berechnen, nur muss alsdann jedem Theile eine Ueberdruckhöhe zur Verfügung stehen, die zur Ueberwindung der Widerstände und sofern auch die Geschwindigkeit in diesem Theile des Kanals erst hervorgerufen werden muss, zur Erzeugung der Geschwindigkeit aufgebraucht werden kann. Die für die einzelnen Theile des Kanals alsdann aufzustellenden Gleichungen

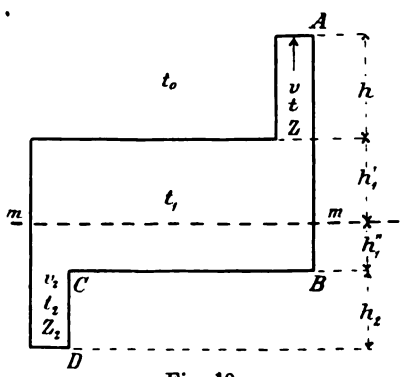


Fig. 10.

Digitized by Google

müssen addirt die Gleichung für ungetheilte Berechnung des Kanalzugs ergeben. Der Vortheil der getrennten Berechnung ist in dem später näher zu erörternden Umstande zu suchen, dass durch dieselbe der Verbrauch an wirksamer Druckhöhe in bestimmter Weise auf die einzelnen Strecken eines Kanalzugs vertheilt wird. Soll z. B. in Fall 8 die Horizontale *mm* die Grenzlinie für die Berechnung bilden und wird somit die Höhe h_1 in die Höhen h_1' und h_1'' getheilt (s. Fig. 10), so lautet die Gleichung für den über *mm* liegenden Theil des Kanalzugs:

$$\left(\frac{h}{1+\alpha t_0}-\frac{h}{1+\alpha t}\right)+\left(\frac{h_1'}{1+\alpha t_0}-\frac{h_1'}{1+\alpha t_1}\right)=\frac{v^2}{2g(1+\alpha t)}(1+Z), \quad (47)$$

dagegen die Gleichung für den unter *mm* liegenden Theil des Kanalzugs:

$$\left(\frac{h_1''}{1+\alpha t_0}-\frac{h_1''}{1+\alpha t_1}\right)+\left(\frac{h_2}{1+\alpha t_0}-\frac{h_2}{1+\alpha t_2}\right)=\frac{v_2^2}{2g(1+\alpha t_2)}(1+Z_2). \quad (48)$$

Die Addition dieser Gleichungen ergiebt Gl. 46.

Fall 10. Soll an einer bestimmten Stelle eines aus undurchlässigem Materiale hergestellten Kanalzugs eine bestimmte Ueberdruckhöhe herrschen, so muss die getrennte Berechnung des vor und hinter dieser Stelle befindlichen Theils des Kanalzugs erfolgen und darf an dieser Stelle die wirksame Druckhöhe der gesammten Kanalanlage nur bis auf die geforderte Ueberdruckhöhe aufgebraucht werden.

Soll somit in Fall 9 bei *mm* (Fig. 10) noch eine Ueberdruckhöhe von H, also gegeben in der Temperatur t_1, bestehen, so lauten die beiden Gleichungen:

$$\frac{H}{1+\alpha t_1}=\frac{v^2}{2g(1+\alpha t)}(1+Z_1), \quad (49)$$

$$\left(\frac{h}{1+\alpha t_0}-\frac{h}{1+\alpha t}\right)+\left(\frac{h_1'+h_1''}{1+\alpha t_0}-\frac{h_1'+h_1''}{1+\alpha t_1}\right)+$$
$$+\left(\frac{h_2}{1+\alpha t_0}-\frac{h_2}{1+\alpha t_2}\right)-\frac{H}{1+\alpha t_1}=\frac{v_2^2}{2g(1+\alpha t_2)}(1+Z_2). \quad (50)$$

Die Addition beider Gleichungen ergiebt wiederum Gl. 46.

Fall 11. Soll an einer bestimmten Stelle eines aus undurchlässigem Materiale hergestellten Kanalzugs eine um die Höhe H, gegeben in der daselbst herrschenden Temperatur, grössere oder kleinere Ueberdruckhöhe herrschen, als die durch die Temperatur bedingte, so muss, wie in Fall 10, die getrennte Berechnung des vor und hinter dieser Stelle befindlichen Theils des Kanalzugs erfolgen, und darf die wirksame Druckhöhe des in Richtung der Luftbewegung vor dieser Stelle liegenden Theils des Kanalzugs nur bis auf die Höhe $\mp H$

Digitized by Google

aufgebraucht werden. Soll also in Fall 9 bei mm (Fig. 10) eine um H vergrösserte oder verkleinerte Ueberdruckhöhe, gegeben in der Temperatur t_1, bestehen, so lauten die Gleichungen:

$$\left(\frac{h}{1+\alpha t_0}-\frac{h}{1+\alpha t}\right)+\left(\frac{h_1'}{1+\alpha t_0}-\frac{h_1'}{1+\alpha t_1}\right)\pm\frac{H}{1+\alpha t_1}= \\ =\frac{v^2}{2g(1+\alpha t)}(1+Z), \qquad (51)$$

$$\left(\frac{h_1''}{1+\alpha t_0}-\frac{h_1''}{1+\alpha t_1}\right)+\left(\frac{h_2}{1+\alpha t_0}-\frac{h_2}{1+\alpha t_2}\right)\mp\frac{H}{1+\alpha t_1}= \\ =\frac{v_2^2}{2g(1+\alpha t_2)}(1+Z_2). \qquad (52)$$

Die Addition beider Gleichungen giebt wiederum Gl. 46.

Fall 12. In allen bisher behandelten Fällen ist stillschweigend angenommen worden, dass die linke Seite einer jeden Gleichung weder $=0$, noch negativ wird. Sobald sich die linke Seite, also die wirksame Druckhöhe zu 0 ergiebt, ist keine Bewegung der Luft im Kanalzuge zu erzielen, sobald sie negativ wird, stellt sich im Kanalzuge eine rückläufige Bewegung der Luft ein.

Bezeichnet allgemein A die algebraische Summe der Druckhöhen der äusseren Luft, B diejenigen der im Durchschnitte wärmeren Innenluft, so stellt $A-B$ die wirksame Druckhöhe der zur Berechnung gestellten Kanalanlage dar. Bezeichnet ferner C die Summe der Geschwindigkeits- und Widerstandshöhen, so muss, wenn ein Heben der inneren Luft verlangt wird, $A-B$ positiv sein und die Gleichung bestehen

$$A-B=C.$$

Ist $A-B$ negativ oder doch $<C$, d. h. ist es im letzteren Falle den Verhältnissen entsprechend nicht möglich, die Geschwindigkeiten so gross anzunehmen wie erforderlich, so kann der gewünschte Effekt nicht erzielt werden.

Wird $C-(A-B)=M$ gesetzt, so stellt M die für den Effekt fehlende wirksame Druckhöhe dar. Es kann nun geschrieben werden:

$$(A+M)-B=C \qquad (53)$$

oder:

$$A-(B-M)=C. \qquad (54)$$

Die erste Gleichung, bei der eine Vergrösserung der Summe der äusseren Druckhöhen durch M stattfindet, setzt die Anwendung eines Ventilators (d. h. eines Druckvermehrers) voraus, der unmittelbar die Ueberdruckhöhe M hervorzurufen hat.

Die zweite Gleichung, bei der eine Verminderung der Summe der inneren Druckhöhen durch M stattfindet, setzt die Anwendung

Digitized by Google

eines Exhaustors (d. h. eines Verminderers des Gegendrucks) voraus, der also mittelbar die Ueberdruckhöhe M hervorzurufen hat.

Ist $A - B = 0$, d. h. sind die inneren Temperaturen gleich den äusseren, so muss $M = C$ sein.

In den Fällen 1—12 haben sämmtliche bei der Berechnung einer Lüftungsanlage vorkommenden Fälle Besprechung gefunden; bezüglich der Anwendung ist auf das nächste Kapitel und die daselbst gegebenen Beispiele zu verweisen.

c) Bestimmung der Bewegungswiderstände. Die Widerstände zerfallen in:

den stetigen Widerstand durch Reibung der Luft an den Wandungen der Kanäle,

die einmaligen Widerstände durch Richtungsänderung in der Bewegung der Luft durch körperliche Hindernisse (Klappen, Schieber, Gitter u. s. w.) und Querschnittsänderungen der Kanäle.

Der Widerstand durch Reibung möge in der Folge durch R, ein einmaliger Widerstand durch ζ bezeichnet werden. Da in einem Kanale verschiedene einmalige Widerstände vorhanden sein können, so ist für jeden Kanal, in dem sich die Luftmenge nicht ändert und bei dem die Temperatur und der Querschnitt als konstant angenommen werden können, eine Summe von ζ also $\Sigma\zeta$ zu bilden. Der Widerstand, der bisher mit Z bezeichnet worden ist, nimmt daher die Gestalt an:

$$Z = R + \Sigma\zeta. \qquad (55)$$

Der Reibungswiderstand R ist erfahrungsgemäss für einen Kanal von rechteckigem Querschnitte:

$$R = \frac{\varrho l u}{f}, \qquad (56)$$

somit für einen solchen von quadratischem oder rundem Querschnitte:

$$R = \frac{4\varrho l}{d} \qquad (57)$$

zu setzen, sofern:

ϱ einen Koefficienten (Reibungskoefficienten),
l die gesammte Länge
u den Umfang
f den Querschnitt
d die Seite oder den Durchmesser
} des Kanals

bedeuten.

Der bisher in der Praxis meist angewandte Werth für $\varrho = 0{,}006$ hat sich nach Versuchen des Verfassers mit etwa 40 m langen, sauber

Digitized by Google

gemauerten und nur gefugten rechteckigen Kanälen als zu klein ergeben; der aus den Versuchen gefundene Ausdruck für ϱ lautet und zwar für Kanäle bis herab zu 48 cm Umfang:

$$\varrho = 0{,}0065 + \frac{0{,}0604}{u - 48}. \qquad (58)$$

In dem Ausdrucke ist der Umfang u des Kanalquerschnitts in Centimeter anzunehmen.

Tabelle 8 giebt Werthe von ϱ, Tabelle 9 Werthe von $\frac{\varrho u}{f}$ für verschiedene Kanalquerschnitte.

Der einmalige Widerstand ζ ist nach Versuchen des Verfassers zu setzen bezüglich der

Richtungsänderungen bei gemauerten Kanälen:

für ein rechtwinkliges scharfes Knie . . . . . $\zeta = 1{,}5$,
„ „ „ abgerundetes Knie (Bogen) $\zeta = 1{,}0$,
„ „ Knie von 135° ⌒ . . . . . $\zeta = 0{,}6$,
„ langsam überführte Richtungsänderungen . . $\zeta = 0$,

körperlichen Hindernisse:

für eine geöffnete Klappe oder einen geöffneten Schieber, sofern der Rahmen mit dem Mauerwerke bündig ist . $\zeta = 0$,

für ein Gitter, dessen freier Querschnitt gleich dem Kanalquerschnitte ist:

sofern das Verhältniss der freien zur totalen Gitterfläche 0,5 beträgt . . . . . $\zeta = 1{,}5$,
sofern das Verhältniss der freien zur totalen Gitterfläche 0,2 beträgt . . . . . $\zeta = 2$,

für ein Gitter, dessen freier Querschnitt ein halb mal grösser als der Kanalquerschnitt ist:

sofern das Verhältniss der freien zur totalen Gitterfläche 0,5 beträgt . . . . . $\zeta = 0{,}75$,
sofern das Verhältniss der freien zur totalen Gitterfläche 0,2 beträgt . . . . . $\zeta = 1$,

für ein weitmaschiges Drahtgitter . . . . . $\zeta = 0$,

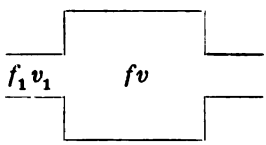
für ein Gitter aus Drahtgaze, dessen freier Querschnitt gleich dem Kanalquerschnitte ist und bei dem das Verhältniss der freien zur totalen Gitterfläche nicht unter 0,6 beträgt . . . . . $\zeta = 0{,}6$,

für ein Gitter aus Drahtgaze, dessen freier Querschnitt ein halb mal grösser als der Kanalquerschnitt ist und bei dem das Verhältniss der freien zur totalen Gitterfläche nicht unter 0,6 beträgt . . . . . $\zeta = 0{,}3$.

Digitized by Google

Querschnittsänderungen:

Kleinere, allmählich verlaufende Querschnittsänderungen können vernachlässigt werden; für plötzliche grössere (z. B. bei einer Heizkammer, die nicht gross genug ist, um die Geschwindigkeit der Luft = 0 zu setzen) ist bezogen auf v: . . . . . $\zeta = \left(\frac{f}{f_1} - 1\right)^2$.



Sechstes Kapitel.

Entwerfen und Berechnen von Lüftungsanlagen.

I. Aufstellung der Forderungen.

Wenn eine Lüftungsanlage ihren Zweck erfüllen soll, so müssen vor dem Entwerfen und Berechnen derselben alle Verhältnisse festgestellt sein, unter denen sie zu arbeiten hat. Es ist daher ein Programm aufzustellen, das gleichzeitig dem Vertrage zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer beizufügen ist. Kann der Auftraggeber selbst oder unter Zuziehung eines unparteiischen Sachverständigen das Programm sachgemäss aufstellen (in dieser Beziehung s. achtzehntes Kapitel), so ist das jederzeit das Empfehlenswertheste; ist er hierzu nicht in der Lage, so muss der Auftragnehmer selber die Bedingungen für den Effekt der Anlage bestimmen. Es sind dem Auftragnehmer dann aber jedenfalls unter Beifügung der Grundrisse und Durchschnitte des Gebäudes mindestens Angaben zu machen über:

Die Lage des Gebäudes, die Benutzung der einzelnen Räume, die voraussichtlich grösste Anzahl der sich in den einzelnen Räumen aufhaltenden Personen, die Beleuchtung der Räume nach Art und Stärke, die Räume, die zur Unterbringung der erforderlichen Kanäle im Keller bezw. Dachraume zur Verfügung stehen, die geeignetste Stelle zur Entnahme frischer Luft und die Art des Brennmaterials, das zur Verwendung kommen soll.

II. Wahl des Lüftungssystems.

Für die Wahl des Lüftungssystems kommen die höchste äussere Temperatur, bis zu welcher der Luftwechsel gefordert wird, und die in den zu lüftenden Räumen einzuhaltenden Druckverhältnisse in Frage.

Digitized by Google

1. Die höchste äussere Temperatur, bis zu welcher der Luftwechsel gefordert wird.

In der Regel werden bei einer höchsten Aussentemperatur von 0^0 bis $+5^0$ für die Erzielung des geforderten Luftwechsels Anlagen mittels Temperaturdifferenz genügen, bei denen die Abluft ohne besondere Erwärmung in steigenden Kanälen unmittelbar oder mittelbar durch einen über den Räumen liegenden und mit einem Schachte in Verbindung stehenden Sammelkanal über Dach geleitet wird. Bei grösserer Ausdehnung des Gebäudes machen sich allerdings mehrere Einzelanlagen nöthig.

Ist die äussere Temperatur höher, etwa zu $+10^0$ bestimmt worden, so wird häufig, besonders bei Forderung reichlichen Luftwechsels die Erzielung desselben durch die einfachen Anlagen infolge zu grosser Kanalquerschnitte nicht mehr möglich sein, da die wirksame Druckhöhe zu klein ist, um die Widerstände zu überwinden. Jedenfalls kann die horizontale Ausdehnung derartiger Anlagen nur eine ganz geringe sein; die Rechnung allein ergiebt die Möglichkeit der Ausführung.

Bei hoher Aussentemperatur, etwa $+25^0$, kann nur Druck- oder Saugelüftung — möge nun letztere durch Erwärmung der Abluft oder durch Exhaustoren bewirkt werden — in Anwendung kommen. Bezüglich der Wahl von Druck- oder Saugelüftung hat man sich nach dem Folgenden wohl zu überlegen, welche Druckverhältnisse in den Räumen herrschen dürfen; ein Missgriff nach dieser Richtung kann sehr störende Erscheinungen hervorrufen.

2. Die in den zu lüftenden Räumen einzuhaltenden Druckverhältnisse.

In einem Raume ohne künstliche Lüftung befindet sich die neutrale Zone (s. S. 23) nahezu in Mitte zwischen Fussboden und Decke; bei wärmerer Innen- als Aussentemperatur herrscht unterhalb der Zone, also da, wo sich die Anwesenden aufhalten, Unterdruck, oberhalb derselben Ueberdruck im Raume. Durch die Undichtheiten der Umschliessungswände wird also unten Luft von aussen eingedrückt, oben Luft nach aussen abgedrückt. Der Lufteintritt und Luftaustritt wächst mit der Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen — also gerade an den kältesten Tagen sind die unvermeidlichen Undichtheiten in ihren Folgeerscheinungen am bemerkenswerthesten. Sofern die Undichtheiten, besonders bei den Fensterfugen, durch sorgfältige Bauausführung auf das geringste Mafs beschränkt bleiben, wird der Eintritt von Luft von den Anwesenden nicht empfunden werden, sofern dieselben sich nicht in unmittelbarer Nähe der Fenster aufzuhalten haben. Da wo sich aber Arbeitsplätze an den Fenstern befinden, werden die Inhaber derselben sehr leicht durch Zugerscheinungen belästigt werden.

Digitized by Google

Bei Lüftungsanlagen wird man daher in allen Fällen, in denen sich Personen in der Nähe der Fenster aufzuhalten haben, bestrebt sein müssen, die neutrale Zone mehr dem Fussboden zu nähern, sie etwa nach der Mitte der über Fussboden befindlichen Abluftöffnung zu verlegen. Unter diesem Gesichtspunkte sind grundsätzlich also zu behandeln: die meisten Wohnräume, Verwaltungsräume, Gerichtsräume, d. h. also Arbeits- und Geschäftsräume jeder Art, ferner Schul- und Krankenräume. Je höher die Räume und je grösser die Fenster sind, desto wichtiger ist die Einhaltung der Forderung, je kleiner sie sind, desto eher darf von derselben abgewichen werden; beispielsweise kann, wenn dies für die Ausführung der Kanäle erwünscht erscheint, in den Einzelzellen der Gefängnisse die neutrale Zone in der Mittellage verbleiben, sogar, da die Fenster sich in grösserer Höhe befinden, eine Verlegung mehr nach der Decke zu erfahren. Bei Schul- und Krankenräumen ist die tiefe Lage der neutralen Zone von besonderer Bedeutung, in den ersteren, da einzelne Kinder täglich stundenlang in der Nähe der Fenster sitzen müssen, in den letzteren, da die Genesenden, wenn sie sich an den Fenstern aufhalten, eines besonderen Schutzes gegen Zugerscheinungen bedürfen. In allen Fällen, in denen die Verlegung der neutralen Zone über Fussboden angezeigt erscheint, aber infolge zu grosser erforderlicher Kanalquerschnitte nicht erreichbar ist, muss durch Anordnung von Heizkörpern an den Fenstern der Eintritt kalter Luft unfühlbar gemacht werden.

Bei Lüftungsanlagen mittels Temperaturdifferenz ohne besondere Erwärmung der Abluft ist es meist, wenigstens bei Anlagen mit einigermassen bedeutender Horizontalausdehnung, reichlichem Luftwechsel und einer Temperatur der einströmenden Luft nicht über Raumtemperatur, nicht möglich, dieser Bedingung der Verlegung der neutralen Zone über Fussboden noch bei einer Aussentemperatur von etwa 0^0 und darunter gerecht werden zu können. Ist die Verlegung nach Art der Räume von besonderer Wichtigkeit, so muss alsdann Drucklüftung gewählt werden.

Die Verlegung der neutralen Zone nach abwärts gewinnt für hohe Räume, insonderheit für Räume, die für eine grosse Anzahl Personen bestimmt sind und bei denen Aussenluft nicht nur durch die Fensterfugen, sondern auch durch die Thüren einströmen kann, an Bedeutung. Hierher gehören alle Festsäle, Versammlungsräume, Theater, Restaurants u. s. w., bei denen ein öfteres gleichzeitiges Oeffnen nicht nur der ihnen unmittelbar zugehörenden Thüren, sondern auch derjenigen der vorliegenden Räume, einschliesslich der Eingangsthüren des Gebäudes stattfindet. In diesen Fällen genügt die Verlegung der neutralen Zone um einige Meter aus der Mittellage nicht mehr, da bei jedem gleichzeitigen Oeffnen der verschiedenen Thüren eine neue Zuluftanlage mit verhältnissmässig ge-

Digitized by Google

ringen Widerständen erschlossen wird und sofort ein Druckausgleich jedenfalls über Mitte der Innenthüren stattfindet. Unterhalb der neutralen Zone strömt alsdann unter lebhaften Zugerscheinungen Aussenluft ein. Je öfter eine Aenderung der Druckverhältnisse im Raume durch das wechselnde Oeffnen und Schliessen der Thüren herbeigeführt wird, um so grösser werden die Zugbelästigungen sich gestalten.

In diesen Fällen muss die neutrale Zone möglichst tief unter den zu lüftenden Raum verlegt, d. h. es muss über Fussboden noch ein kräftiger Ueberdruck angestrebt werden. Drucklüftung ist alsdann angezeigt.

In sehr grossen Räumen, für die an und für sich ein Lüftungsbedürfniss zwar nicht vorliegt (Kirchen), aber in denen infolge der bedeutenden Höhe und infolge der Durchlässigkeit der Decke und der vielen Fensterfugen u. s. w. der Unterdruck über Fussboden zu sehr schweren Zugerscheinungen beim Oeffnen der Thüren Veranlassung geben kann, ist es zur Vermeidung derselben erforderlich, die neutrale Zone möglichst dem Fussboden zu nähern. Man erreicht dies durch Einlassen grosser Mengen angewärmter Luft über Fussboden und durch thunlichstes Abdichten aller Umschliessungsflächen.

In Räumen, in denen sich Gerüche, Dunst, Staub u. s. w. entwickeln (Küchen, Garderoben, Aborte, Digestorien, Bäder), deren Luft also von Nachbarräumen möglichst fern gehalten werden soll, ist die neutrale Zone über die Decke zu verlegen, d. h. es ist Unterdruck in jeder Höhenlage der Räume zu schaffen. Es bedingt dies eine grössere Betriebskraft der Abluft- als der Zuluftanlage und wird erreicht mittels Steigerung der wirksamen Druckhöhe der Abluftanlage durch besondere Erwärmung der Abluft oder durch Absaugen mittels Exhaustoren, sowie durch gleichzeitiges Uebertragen dieser wirksamen Druckhöhe auf die Zuluftanlage. Am besten ist es dann, die Zuluft für diese Räume zunächst den zu schützenden Nachbarräumen zuzuführen und die Ueberleitung durch Kanäle, am einfachsten durch regelbare Oeffnungen in den Zwischenthüren unmittelbar über Fussboden zu bewirken. Erfordern die Nachbarräume an sich ebenfalls Zuführung von Luft, ohne dass eine besondere Güteverminderung derselben zu befürchten ist, so kann diese für die in Frage stehenden Räume mit in Anrechnung kommen, andernfalls ergiebt sich die Menge der in die Nachbarräume einzuführenden Luft aus der Summe des Luftbedürfnisses beider Arten von Räumen.

Ist also nach dem bisher Gesagten bei Lüftung mittels Temperaturdifferenz ohne besondere Erwärmnng der Abluft die erforderliche Verlegung der neutralen Zone aus der Mittellage nach Massgabe der alsdann verfügbaren Ueberdruckhöhe nicht erreichbar, so muss bei Näherung der neutralen Zone der Abluftöffnung Drucklüftung, bei

Digitized by Google

Näherung der Zuluftöffnung Saugelüftung angewendet werden. Trotzdem kann bei Anwendung von Drucklüftung Unterdruck, bei Anwendung von Saugelüftung Ueberdruck im Raume bestehen, sofern die wirksame Druckhöhe der einen Anlage nicht zur Ueberwindung der Widerstände ausreicht und die Ueberdruckhöhe der andern Anlage dafür noch mit Verwendung finden muss. Es wird dies zwar selten in der Praxis vorkommen und soll das Hervorheben der Möglichkeit auch nur den Hinweis liefern, dass nicht allein die schablonenmässige Anwendung einer Druck- oder Saugelüftung, sondern eine sorgfältige Durchrechnung den gewünschten Erfolg sichern kann.

Bei den bisherigen Betrachtungen war die Innenluft als die wärmere angenommen worden. Hat die Aussenluft eine höhere Temperatur als die Innenluft (Kühlanlagen), so herrscht über der neutralen Zone Unterdruck, unter der neutralen Zone Ueberdruck im Raume. Zugerscheinungen sind alsdann im bisherigen Sinne als ausgeschlossen zu betrachten; da dann die kältere Luft auch die schwerere Luft ist, so muss die neutrale Zone nach oben und über den zu lüftenden Raum verschoben werden, damit durchweg Ueberdruck herrscht und an keiner Stelle wärmere Aussenluft durch die Umfassungswände einströmen kann.

III. Entwurf.

Nachdem unter den gegebenen Bedingungen die Wahl des Lüftungssystems getroffen worden ist, hat zunächst die Gesammtanordnung der Anlage in ihren wichtigsten Theilen unter Anpassen an die Gebäudeverhältnisse zu erfolgen. Die Berechnungsergebnisse der Grössenverhältnisse einzelner Theile der Anlage haben auf die Möglichkeit der gewünschten Anordnung wesentlichen Einfluss, so dass theilweise die Berechnung mit dem Entwerfen Hand in Hand gehen muss. Der Entwurf einer Lüftungsanlage erfordert meist mehr Umsicht und Erfahrung als der Entwurf einer Heizungsanlage; er ist den jeweiligen Verhältnissen anzupassen und daher hier nicht weiter zu besprechen. Allgemein kann gesagt werden, dass derjenige Entwurf als der beste zu gelten hat, durch den ausser dem nach jeder Richtung gesicherten Effekte die beste Uebersichtlichkeit und die leichteste Bedienung der Anlage ermöglicht wird.

IV. Berechnung einer Lüftungsanlage.

Die Berechnung einer Lüftungsanlage zerfällt in die Bestimmung der Theile bezw. Grössen, die vor Berechnung der Kanalanlage zu erfolgen hat, und in die Bestimmung der Kanalanlage einschliesslich der von dieser abhängigen Theile und Grössen der Anlage.

Digitized by Google

A) Theile bezw. Grössen, deren Bestimmung vor Berechnung der Kanalanlage zu erfolgen hat.

Hierunter fallen neben dem erforderlichen stündlichen Luftwechsel eines jeden Raumes zunächst fast alle im fünften Kapitel angeführten einzelnen Theile bezw. Grössen einer Lüftungsanlage, weshalb auf dieses Kapitel zu verweisen ist.

B) Bestimmung der Kanalanlage einschliesslich der Theile bezw. Grössen, die von derselben abhängig sind.

Jede Lüftungsanlage besteht aus den zu lüftenden Räumen, ferner aus Räumen, in denen die Luft gereinigt, erwärmt u. s. w. wird und aus einer Reihe von Kanälen. Sämmtliche Räume können als Erweiterungen der Kanäle oder richtiger gesagt ebenfalls als Kanäle von besonders grossem Querschnitte betrachtet werden. Unter dieser Voraussetzung ist für jeden zu lüftenden Raum von der Entnahmestelle der Aussenluft an gerechnet bis zum Austritte der Abluft aus dem Gebäude mindestens ein ununterbrochener Kanalzug vorhanden, so dass jede Lüftungsanlage aus einer Anzahl von Kanalzügen besteht, die mindestens so gross ist, als die Anzahl der zu lüftenden Räume. Ein jeder Kanalzug zerfällt in zwei Hauptstrecken, von denen die eine die Förderung der Zuluft, die andere die Förderung der Abluft für den betreffenden Raum zu übernehmen hat.

Würden die zu lüftenden Räume und die Kanäle dicht hergestellt werden können, wie z. B. das Rohrnetz einer Wasserleitung, so würde die Bewegung der Zuluft und Abluft in unbedingter Abhängigkeit von einander stehen, und es würde für den Effekt und für das Wohlbefinden der in den zu lüftenden Räumen anwesenden Personen völlig gleichgültig sein, ob die Luftbewegung auf Erwärmen, Eindrücken oder Absaugen der Luft beruhte. Bei der Entwickelung der Luftbewegung in den Kanälen (S. 64—72) wurde die unbedingte Dichtheit der Wandungen angenommen.

Nach früheren Ausführungen ist aber in Wirklichkeit trotz der Vorsicht, die man anwenden soll, auf völlige Dichtheit der zu lüftenden Räume nicht zu rechnen, und somit entzieht sich stets die Grösse der vorhandenen Abhängigkeit der Beurtheilung. Da sich in einem Raume ohne künstliche Lüftung die Gleichgewichtslage der Aussen- und Innenluft (neutrale Zone, s. S. 22) etwa in Mitte Höhe befindet, so ist es zur Vermeidung von unter Umständen schweren Effektsstörungen erforderlich, diesen Umstand zu beachten und die Berechnung getrennt für die Zu- und Abluftanlage anzustellen. Die Grenzebene dieser beiden Anlagen bildet alsdann die neutrale Zone, wenn die wirksame Druckhöhe einer jeden Anlage auch durch deren Geschwindigkeits- und Widerstandshöhen aufgebraucht wird,

Digitized by Google

sie bildet dagegen nicht die neutrale Zone, wenn in ihr ein bestimmter Ueber- oder Unterdruck herrscht, also ein Theil der Ueberdruckhöhe einer Anlage noch für die andere Anlage in Wirksamkeit zu treten hat.

Die Erzielung der angenommenen Druckverhältnisse in der Praxis hängt von dem Mafse der Undichtheit der Wände u. s. w. ab. Die gewünschten Druckverhältnisse in der Grenzebene der Zuluft- und Abluftanlage werden jederzeit eintreten, wenn die Grenzebene die neutrale Zone bilden und in der Mitte des zu lüftenden Raumes liegen soll, sie werden dagegen abweichen, wenn die neutrale Zone aus der Mittellage verschoben werden soll. Bei guter Bauausführung und bei Verschiebung der neutralen Zone innerhalb des zu lüftenden Raumes um wenige Meter wird die Abweichung von der Annahme nur gering und daher zu vernachlässigen sein, bei Verschiebung der neutralen Zone um grössere Höhen, besonders aber bei Verlegung derselben aus dem zu lüftenden Raume heraus, d. h. also in den Fällen, in denen ein bestimmter Ueber- oder Unterdruck in der Grenzebene der beiden Anlagen stattfinden, diese also nicht mehr die neutrale Zone bilden soll, empfiehlt es sich, eine grössere als die gestellte Forderung (eine grössere Höhe bezw. einen grösseren Ueber- oder Unterdruck) in Rechnung zu ziehen.

Von der Bedingung getrennter Berechnung der Zuluft- und Abluftanlage kann abgewichen werden, wenn es gleichgültig ist, ob Ueber- oder Unterdruck in den zu lüftenden Räumen herrscht und ob durch die unvermeidlichen Fugen der Fenster, Thüren u. s. w. Luft nach aussen abströmt bezw. von aussen einströmt. Empfohlen soll die ungetrennte Berechnung auch in diesen Fällen nicht werden; es ist immer besser, die Druckverhältnisse in den zu lüftenden Räumen für die Rechnung anzunehmen und dadurch den Effekt sicher zu stellen, anstatt diesen mehr oder weniger dem Zufalle zu überlassen.

Von der Bedingung getrennter Berechnung der Zuluft- und Abluftanlage muss abgewichen werden, wenn die Luftbewegung in beiden Anlagen lediglich oder doch fast ausschliesslich durch die Kraftwirkung nur einer von beiden bewirkt werden soll, wenn also in der andern Anlage eine negative oder infolge gleicher Innen- und Aussentemperatur gar keine wirksame Druckhöhe herrscht oder dieselbe doch so gering ist, dass die Kanäle in den sich für diese ergebenden Querschnitten nicht ausgeführt werden können und wenn man ausserdem nicht von Hause aus eine Vertheilung der Kraftwirkung auf die beiden Anlagen vornehmen will.

Die Undichtheit der Kanalwandungen ist selbstverständlich ebenfalls von Einfluss auf die Druckverhältnisse, indessen kann dieselbe bei nicht zu grossen Querschnitten der Kanäle als zu unbedeutend vernachlässigt werden. Bei weiten und langgestreckten Kanälen,

Digitized by Google

ganz besonders bei Abluftkanälen von Anlagen mit Saugelüftung muss allerdings auf die Dichtheit oft grosser Werth gelegt werden; diese ist aber dann in der erforderlichen Vollkommenheit durch geeigneten Putz, Anstrich u. s. w. der äusseren oder inneren Kanalwandung ohne Schwierigkeit zu erzielen.

Jeder Kanalzug einer Lüftungsanlage setzt sich aus verschiedenen Theilstrecken zusammen, wenn unter einer solchen ein Kanal oder Raum verstanden wird, bei dem Luftmenge, Querschnitt und Lufttemperatur konstant bleiben oder doch wenigstens als gleichbleibend in die Rechnung eingefügt werden können. Bei jeder Lüftungsanlage giebt es eine grössere oder geringere Anzahl Theilstrecken, die verschiedenen Kanalzügen gemeinsam sind.

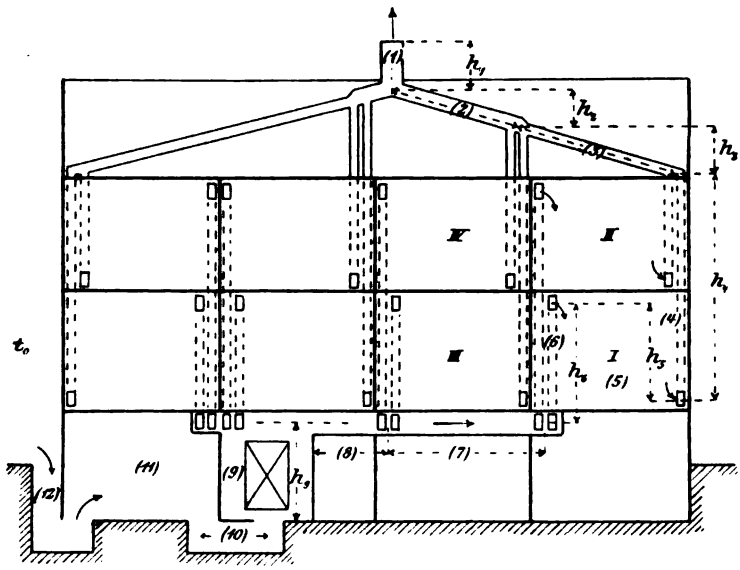


Fig. 11.

Fig. 11 stellt schematisch eine einfache Lüftungsanlage eines Gebäudes mittels Temperaturdifferenz ohne besondere Erwärmung der Abluft dar.

Für Raum I ergeben sich nach dem Gesagten 12 Theilstrecken, für Raum II desgleichen. Die Kanalzüge beider Räume unterscheiden sich nur durch die Theilstrecken 4, 5 und 6, alle übrigen Theilstrecken sind ihnen gemeinsam. Den Räumen III und IV fehlen die Theilstrecken 3 und 7 der Räume I und II, dagegen sind ihnen die übrigen Theilstrecken mit Ausnahme von 4, 5 und 6 wiederum mit denselben Räumen gemeinsam.

Bei jedem Kanalzuge sind verschiedene Theilstrecken in ihren Abmessungen durch bauliche Verhältnisse bestimmt, jederzeit z. B. der zu lüftende Raum, die Heizkammer, die Staubkammer u. s. w.; ver-

Digitized by Google

schiedene Theilstrecken können innerhalb bestimmter Grenzen gewählt, verschiedene dagegen müssen berechnet werden.

Von den Verhältnissen der Kanalanlage hängt bei Drucklüftung und Saugelüftung mittels Ventilatoren die Grösse der Ventilatoren ab; dieselbe ist somit ebenfalls zu berechnen. Dasselbe gilt bei Saugelüftung mittels Wärme von der Temperatur der Abluft, falls der Querschnitt des Abluftschachtes in seinen Abmessungen gewählt worden ist. Die Berechnung der Ventilatoren ist auf S. 54 gegeben, die Temperatur der Abluft bei gegebenem Kanalquerschnitte dagegen ist aus der Gleichung für die erreichbare Geschwindigkeit zu berechnen, folgt also unmittelbar aus den Gleichungen zur Berechnung der nicht durch Wahl erledigten Theilstrecken.

1. Kanäle, deren Querschnitt unter Annahme der Geschwindigkeit der zu fördernden Luft oder nach baulichen Verhältnissen bestimmt werden können.

a) Bei allen Anlagen. Bei freier Wahl der Kanalquerschnitte bezw. der Luftgeschwindigkeiten ist jederzeit zu beachten, dass die Widerstandshöhen mit dem Quadrate der Geschwindigkeit zunehmen und dass die Einzelkanäle für Zu- und Abluft um so kleinere Querschnitte erhalten — was meist erwünscht ist —, je grösser die Querschnitte der anderen Kanäle sich gestalten. Bei Druck- oder Saugelüftung ist die Wahl geringer Geschwindigkeit noch von besonderem Werthe, da sich die Betriebskraft bezw. die nothwendige Erwärmung der Abluft niedriger stellt.

Nach Massgabe der gewählten Geschwindigkeit ist der Querschnitt und unter Berücksichtigung der Gebäudeverhältnisse die Querschnittsform, umgekehrt bei gegebenem oder angenommenem Querschnitte die Geschwindigkeit unter Berücksichtigung der Temperatur mittels der Gl. 32 bezw. 33 zu bestimmen. Quadratischer oder runder Querschnitt ist stets dem oblongen wegen der geringeren Reibung vorzuziehen.

Der Kanal von der Entnahmestelle der frischen Luft bis zur Heizkammer. Die Geschwindigkeit der Luft in diesem Kanale soll eine möglichst geringe sein, wenn angängig nicht über 1 m, besser darunter.

Der Vertheilungskanal der warmen Luft nach den Einzelkanälen. Auch in diesem Kanale soll eine geringe Luftgeschwindigkeit herrschen, freilich ist zu beachten, dass bei grossem Querschnitte die Abkühlung der Luft eine grössere ist, als bei engerem Querschnitte. Demzufolge sind die den Kanal bildenden Wände gegen Wärmeabgabe möglichst zu schützen.

Ist die Wärmeabgabe der Wände unbedeutend, so kann auch eine ganz geringe Geschwindigkeit vorgesehen werden; auch ist es alsdann zulässig, dem Kanale von Anfang bis zu Ende den gleichen Querschnitt zu geben, mithin die Geschwindigkeit der Luft von Be-

Digitized by Google

ginn zu Beginn der Einzelkanäle zu verringern; andernfalls ist es rathsam, sie zu etwa 1 m bis 1,2 m anzunehmen und den Querschnitt nach Massgabe des Beginns von Einzelkanälen unter allmählichen Uebergängen zu verkleinern. Jedenfalls müssen die Kanäle aber so gross bemessen werden, dass sie noch reinigungsfähig sind. Auf möglichste Dichtheit der Kanalwandungen ist zu achten.

Der Sammelkanal der Abluft von Einzelkanälen. Es ist zweckmässig, dem Sammelkanale keinesfalls einen grösseren Querschnitt zu geben als die Summe der Querschnitte der in denselben mündenden Einzelkanäle. Da bei Anlagen mittels Temperaturdifferenz die aufsteigenden Einzelkanäle erst berechnet werden sollen, so ist es gut, die Geschwindigkeit in dem Sammelkanale nicht zu gering, etwa 1 m bis 1,5 m, anzunehmen. Bei Anlagen ohne besondere Erwärmung der Abluft kann es freilich bei Annahme grosser Geschwindigkeit vorkommen, dass die Einzelkanäle zu bedeutende Querschnitte erhalten müssen und alsdann nicht unterzubringen sind, weil die wirksame Druckhöhe schon durch die in ihrem Querschnitte angenommenen Kanäle zum grössten Theile aufgebraucht ist und daher der Rest derselben der Luft in den Einzelkanälen nur geringe Geschwindigkeit ertheilen kann. In diesem Falle muss die Geschwindigkeit geringer genommen werden, besser aber ist es, statt einer Lüftungsanlage alsdann deren zwei vorzusehen, so dass die horizontale Kanalausdehnung sich vermindert.

b) Bei Anlagen mittels Temperaturdifferenz ohne besondere Erwärmung der Abluft. Bei diesen Anlagen kann noch die Geschwindigkeit in dem gemeinschaftlichen mit dem etwa vorhandenen Sammelkanale in Verbindung stehenden Abzugsschachte angenommen werden. Dieselbe ist zweckmässig gleich derjenigen im Sammelkanale oder um ein Geringes grösser zu setzen.

Es können mithin die Querschnitte aller Kanäle bis auf die Einzelkanäle für Zu- und Abluft unabhängig von einander bestimmt werden.

c) Bei Anlagen mittels Temperaturdifferenz unter besonderer Erwärmung der Abluft. Bei diesen Anlagen sind zwei Fälle zu unterscheiden — die Temperatur der Luft im gemeinsamen Abluftschachte ist entweder bekannt oder unbekannt.

Die Temperatur der Luft im gemeinsamen Abluftschachte ist bekannt, d. h. sie ist entweder gegeben bezw. nach freier Wahl anzunehmen oder nach einer vorhandenen Wärmequelle (Rauchrohr etc.) vorher zu berechnen (s. S. 42). Sofern getrennte Berechnung der Zuluft- und Abluftanlage stattfinden, d. h. sofern die Saugkraft nur von einer angenommenen im Raume liegenden neutralen Zone ab wirksam sein soll, bezieht sich selbstverständlich das Nachfolgende nur auf die Abluftanlage, sofern die Erwärmung der Abluft auch auf die Sicherung der Zuluft sich erstrecken muss, auf die Zuluft- und Abluftanlage gemeinsam.

Digitized by Google

Bei Sammlung der Abluftkanäle auf dem Dachboden ist die erforderliche Geschwindigkeit im Abzugsschachte etwa um 0,2 m grösser als im Sammelkanale anzunehmen. Es bleiben dann nur noch die Querschnitte der einzelnen Zuluft- und Abluftkanäle unbekannt.

Bei Sammlung der Abluftkanäle im Keller, also bei grosser Höhe des Abluftschachtes kann entweder die Geschwindigkeit im Abluftschachte und zwar zu etwa 1,5—2 m oder diejenige in den Einzelkanälen des ungünstigst gelegenen Raumes angenommen werden. Im ersten Falle bleiben dann nur die Querschnitte der sämmtlichen Einzelkanäle, im zweiten Falle der Schachtquerschnitt und die übrigen Einzelkanäle unbekannt. Die Geschwindigkeit in den Einzelkanälen bei Fall 2 ist möglichst klein, etwa zu 0,7 m anzunehmen.

Die Temperatur der Luft im gemeinsamen Abluftschachte ist unbekannt und soll berechnet werden. In diesem Falle können die Querschnitte aller Kanäle des ungünstigst gelegenen Raumes unter Zugrundelegung der bereits angegebenen Geschwindigkeiten gewählt werden. Für die übrigen Räume ist alsdann die Temperatur der Abluft bestimmt.

d) Bei Anlagen unter Anwendung von Ventilatoren. Bei diesen Anlagen kann für den ungünstigst gelegenen Raum die Geschwindigkeit in allen Kanälen, die noch unter dem Einflusse des Ventilators stehen, gewählt werden.

Bis zum Beginne der Einzelkanäle für Zuluft ist es zweckmässig, nach dem unter a) Gesagten zu verfahren, von hier ab aber die Geschwindigkeit für alle folgenden Kanäle gleich gross und zwar zweckmässig bis zu etwa 2 m, auch darüber, anzunehmen.

2. Kanäle, deren Querschnitte nicht gewählt werden können, sondern nach Massgabe der Gleichungen für die erforderliche und erreichbare Geschwindigkeit zu berechnen sind.

a) Aufstellung der allgemeinen Gleichungen. Die Gleichung für die erforderliche Geschwindigkeit ist bereits auf S. 64, diejenige für die erreichbare Geschwindigkeit auf S. 64 u. f. im Falle 1—12 gegeben worden. Es ist ferner (S. 80 u. 82) bereits darauf verwiesen worden, dass jeder zu lüftende Raum als ein Theil mindestens eines von der Entnahmestelle der Aussenluft beginnenden und mit dem Austritte der Abluft aus dem Gebäude endigenden Kanalzuges anzusehen ist; auch der Begriff der Theilstrecken, aus denen ein Kanalzug zusammengesetzt ist, hat an dieser Stelle Erwähnung gefunden.

Jede Anlage besteht aus einer Anzahl von Kanalzügen, deren Theilstrecken zum Theile gemeinsam sind. Da jeder Kanalzug einer genau gleichen Berechnungsweise unterliegt, so sind die allgemeinen Gleichungen nur für einen Kanalzug zu geben.

In der Folge bedeutet jederzeit:

t_0 die Temperatur der Aussenluft,

Digitized by Google

ferner für eine Theilstrecke:

t die Temperatur der Innenluft,
h die für die Luftbewegung in Frage kommende Höhe in m,
v die sekundliche Geschwindigkeit der Luft in m,
f den Querschnitt in qm,
u den Umfang in m,
l die abgewickelte Länge in m,
ϱ den Reibungskoefficienten,
$\Sigma\zeta$ die Summe der einmaligen Widerstände,
Z die Gesammtwiderstände,
H die Höhe in m und in der ihr zukommenden Temperatur, die von der wirksamen Druckhöhe der Zuluftanlage auf die Abluftanlage oder umgekehrt übertragen werden soll, um in dem zu lüftenden Raume bestimmte Druckverhältnisse zu erzielen,
H_f in m die bei Vorhandensein eines Filters durch das Reinigen der Luft verloren gehende wirksame Druckhöhe, gegeben in der Temperatur der gefilterten Luft,
M die Höhe in m, um welche die durch Temperaturunterschied gebildete Ueberdruckhöhe von 0^0 durch Ventilatoren vermehrt oder vermindert werden soll.

Alle Grössen einer Theilstrecke erhalten als Index die Nummer der Theilstrecke, also die Grössen der Theilstrecke 1 lauten: t_1, h_1, $v_1 \ldots$, der Theilstrecke 2: t_2, h_2, $v_2 \ldots$.

Bei Aufstellung der Gleichung empfiehlt es sich, jederzeit beim Ende der Anlage zu beginnen und der Luftbewegung entgegen zu gehen, da auf diese Weise am sichersten ein Uebersehen der Geschwindigkeitshöhen vermieden wird.

Bei jeder Lüftungsanlage können der Hauptsache nach drei verschiedene Berechnungsweisen Anwendung finden. Besitzt daher die Abluftanlage die Theilstrecken 1 bis m, die Zuluftanlage die Theilstrecken $m+1$ bis $m+n$, dann lassen sich die allgemeinen Gleichungen für einen Kanalzug gemäss der früheren Entwickelungen (s. S. 64—72) wie folgt aufstellen.

α) Getrennte Berechnung der Abluft- und Zuluftanlage. Die Grenzebene der beiden Anlagen bildet die neutrale Zone. Gleichung für die Abluftanlage:

$$\pm\left(\frac{h_1}{1+\alpha t_0}-\frac{h_1}{1+\alpha t_1}\right)\pm\left(\frac{h_2}{1+\alpha t_0}-\frac{h_2}{1+\alpha t_2}\right)\pm\ldots.$$

$$\ldots.\pm\left(\frac{h_m}{1+\alpha t_0}-\frac{h_m}{1+\alpha t_m}\right)=\frac{v_1^2}{2g(1+\alpha t_1)}(1+Z_1)+\frac{v_2^2}{2g(1+\alpha t_2)}Z_2+$$

$$+\frac{v_3^2}{2g(1+\alpha t_3)}Z_3+\ldots+\frac{v_m^2}{2g(1+\alpha t_m)}Z_m, \qquad (59)$$

Digitized by Google

Gleichung für die Zuluftanlage:

$$\pm\left(\frac{h_{m+1}}{1+\alpha t_0}-\frac{h_{m+1}}{1+\alpha t_{m+1}}\right)\pm\left(\frac{h_{m+2}}{1+\alpha t_0}-\frac{h_{m+2}}{1+\alpha t_{m+2}}\right)\pm\ldots.$$

$$\ldots.\pm\left(\frac{h_{m+n}}{1+\alpha t_0}-\frac{h_{m+n}}{1+\alpha t_{m+n}}\right)-\frac{H_f}{1+\alpha t_0}=$$

$$=\frac{v^2_{m+1}}{2g(1+\alpha t_{m+1})}(1+Z_{m+1})+\frac{v^2_{m+2}}{2g(1+\alpha t_{m+2})}Z_{m+2}+$$

$$+\frac{v^2_{m+3}}{2g(1+\alpha t_{m+3})}Z_{m+3}+\ldots.+\frac{v^2_{m+n}}{2g(1+\alpha t_{m+n})}Z_{m+n}. \quad (60)$$

Im Falle von Ventilatorenbetrieb ist bei Saugelüftung der linken Seite der Gleichung für die Abluftanlage, bei Drucklüftung der linken Seite der Gleichung für die Zuluftanlage $+M$ hinzuzufügen.

β) Getrennte Berechnung der Abluft- und Zuluftanlage. In der Grenzebene der beiden Anlagen soll eine Ueber- oder Unterdruckhöhe H, gegeben in der Temperatur t_m, herrschen. Alle Gleichungen lauten genau wie unter *α*), nur ist der linken Seite der Gleichung

für die Abluftanlage (59) $\pm\frac{H}{1+\alpha t_m}$,

für die Zuluftanlage (60) $\mp\frac{H}{1+\alpha t_m}$

hinzuzufügen — das obere Vorzeichen bei Ueberdruck, das untere bei Unterdruck in der Grenzebene der beiden Anlagen.

γ) Gemeinsame Berechnung der Abluft- und Zuluftanlage (s. a. S. 80). Die Gl. 59 und 60 sind zu addiren. Bei Ventilatorbetrieb ist sowohl bei Druck- als Saugelüftung der linken Seite der Gleichung $+M$ zuzufügen.

Zu den Gleichungen dieser drei Berechnungsweisen ist Folgendes zu bemerken.

Die linke Seite stellt die für die Anlage zur Verfügung stehende wirksame Druckhöhe, ausgedrückt in 0^0, dar. Die wirksame Druckhöhe einer Theilstrecke ist bei wärmerer Innenluft positiv einzuführen, wenn die Luft in der Theilstrecke eine steigende Bewegung besitzt, negativ bei fallender Bewegung. Ist die Innenluft kälter als die Aussenluft, so findet das Umgekehrte statt. Bei horizontalen Theilstrecken von geringer senkrechter Ausdehnung (Kanäle) ist $h=0$ zu setzen, somit besitzen dieselben keine zu berücksichtigende wirksame Druckhöhe. Findet in der Theilstrecke allmähliche Zu- oder Abnahme der Temperatur statt (Heizkammer, Kühlkammer, Lockschornsteine unter Benutzung abziehender Rauchgase u. s. w.), so ist die mittlere Temperatur in Rechnung zu stellen. Die Einführung der Höhe H dient

Digitized by Google

lediglich zur Erzielung gewünschter Druckverhältnisse in den zu lüftenden Räumen, sie hebt sich jederzeit bei Addition der Gleichungen für die Abluft- und für die Zuluftanlage. Die Grösse M (Druckhöhe bei 0^0, die der Ventilator zu schaffen hat) ist stets positiv, die Grösse H_f (Druckhöhenverlust durch ein vorhandenes Filter, gegeben in der gefilterten Luft) stets negativ in Ansatz zu bringen.

Die rechte Seite der Gleichungen ist die Summe der stets positiven Geschwindigkeits- und Widerstandshöhen, ausgedrückt in Luft von 0^0. Die Geschwindigkeit der Luft in grossen Räumen (d. h. in den zu lüftenden Räumen, Staubkammern u. s. w.) ist $= 0$ zu setzen. Bei Austritt der Luft ins Freie oder in grosse Räume ist jedesmal die Geschwindigkeitshöhe in Ansatz zu bringen, andernfalls nur die

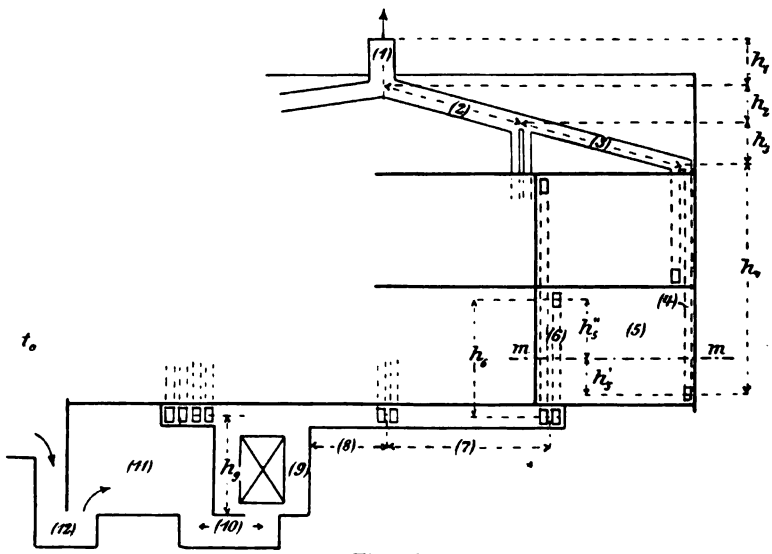


Fig. 12.

Widerstandshöhe — es kennzeichnet sich dies durch die Grössen $1 + Z$ bezw. Z. Wäre also z. B. Theilstrecke *3* in Gl. 59 ein grosser Raum, so entfiele der Ausdruck mit v_3, da $v_3 = 0$ zu setzen ist, dagegen würde bei Theilstrecke *4* nicht nur Z_4, sondern $1 + Z_4$ zu setzen sein. In Gl. 59 und 60 ist somit angenommen, dass die Luft aus der Abluft- bezw. Zuluftanlage dem Freien bezw. einem grossen Raume zuströmt. Geschwindigkeits- und Widerstandshöhen sind in den ihnen zukommenden Temperaturen auszudrücken, d. h. die ersteren in der Temperatur der austretenden, die letzteren in der im Kanale befindlichen Luft. Findet also z. B. in der Theilstrecke allmähliche Zu- oder Abnahme der Lufttemperatur statt, so ist die Geschwindigkeitshöhe in der Endtemperatur, die Widerstandshöhe in der mittleren Temperatur zu geben. (S. S. 67 Fall 3.)

Digitized by Google

b) Anwendung der allgemeinen Gleichungen.

Fall 1. *Lüftung ohne besondere Erwärmung der Abluft. Abluft- und Zuluftanlage erfahren getrennte Berechnung. Die Grenzebene der beiden Anlagen bildet die neutrale Zone.*

Fig. 12 stellt einen in eine Ebene abgewickelten Kanalzug einer Lüftungsanlage dar. Die Horizontale $m\,m$ durch den zu lüftenden Raum (Theilstrecke 5) bezeichnet die geforderte Lage der neutralen Zone; dieselbe bildet die Grenzebene zwischen der Zuluft- und Abluftanlage.

Der gesammte Kanalzug hat 12 Theilstrecken, von denen Theilstrecke 7, 8, 10, 11 und 12 horizontal liegen. Theilstrecke 9 stellt die Heizkammer, Theilstrecke 11 eine grosse Staubkammer dar; ein Filter ist nicht vorhanden. Der zu lüftende Raum wird durch die neutrale Zone $m\,m$ in die Höhe h_5' und h_5'' zerlegt, von der die erstere der Abluftanlage, die letztere der Zuluftanlage angehört; ausserdem entfallen auf die Abluftanlage die Theilstrecken 1—4, auf die Zuluftanlage die Theilstrecken 6—12.

Die Gleichung der Abluftanlage lautet entsprechend Gl. 59 und dem Gesagten:

$$\left(\frac{h_1}{1+\alpha t_0}-\frac{h_1}{1+\alpha t_1}\right)+\left(\frac{h_2}{1+\alpha t_0}-\frac{h_2}{1+\alpha t_2}\right)+\left(\frac{h_3}{1+\alpha t_0}-\frac{h_3}{1+\alpha t_3}\right)+$$
$$+\left(\frac{h_4}{1+\alpha t_0}-\frac{h_4}{1+\alpha t_4}\right)-\left(\frac{h_5'}{1+\alpha t_0}-\frac{h_5'}{1+\alpha t_5}\right)=\frac{v_1^2}{2g(1+\alpha t_1)}(1+Z_1)+$$
$$+\frac{v_2^2}{2g(1+\alpha t_2)}Z_2+\frac{v_3^2}{2g(1+\alpha t_3)}Z_3+\frac{v_4^2}{2g(1+\alpha t_4)}Z_4. \quad (61)$$

Die Gleichung der Zuluftanlage lautet entsprechend Gl. 60 und dem Gesagten:

$$-\left(\frac{h_5''}{1+\alpha t_0}-\frac{h_5''}{1+\alpha t_5}\right)+\left(\frac{h_6}{1+\alpha t_0}-\frac{h_6}{1+\alpha t_6}\right)+\left(\frac{h_9}{1+\alpha t_0}-\frac{h_9}{1+\alpha t_9}\right)=$$
$$=\frac{v_6^2}{2g(1+\alpha t_6)}(1+Z_6)+\frac{v_7^2}{2g(1+\alpha t_7)}Z_7+\frac{v_8^2}{2g(1+\alpha t_8)}Z_8+$$
$$+\frac{v_9^2}{2g(1+\alpha t_9)}Z_9+\frac{v_{10}^2}{2g(1+\alpha t_{10})}Z_{10}+0+\frac{v_{12}^2}{2g(1+\alpha t_{12})}(1+Z_{12}). \quad (62)$$

Die weitere Behandlung der Gleichungen hat wie folgt stattzufinden.

Nach früher Gesagtem (S. 84) sind die Grössen sämmtlicher Theilstrecken entweder gegeben oder können bis auf den senkrechten Abluft- und Zuluftkanal (Theilstrecke 4 und 6) angenommen werden, somit ist in der Gleichung für die Abluftanlage alles bekannt bis auf das Glied der rechten Seite $\frac{v_4^2}{2g(1+\alpha t_4)}(1+Z_4)$, in der Zuluftanlage bis auf das Glied $\frac{v_6^2}{2g(1+\alpha t_6)}(1+Z_6)$.

Digitized by Google

Bezeichnet A_1 bezw. A_2 die algebraische Summe aller bekannten Glieder der Abluft- bezw. Zuluftanlage, so ergiebt sich als Gleichung der

$$\text{Abluftanlage: } A_1 = \frac{v_4^2}{2g(1+\alpha t_4)}(1+Z_4), \tag{63}$$

$$\text{Zuluftanlage: } A_2 = \frac{v_6^2}{2g(1+\alpha t_6)}(1+Z_6), \tag{64}$$

oder wenn für Z_4 und Z_6 die Einzelgrössen (s. S. 73) eingesetzt werden, als Gleichung der

$$\text{Abluftanlage: } A_1 = \frac{v_4^2}{2g(1+\alpha t_4)}\left(1+\frac{\varrho_4 l_4 u_4}{f_4}+\Sigma\zeta_4\right), \tag{65}$$

$$\text{Zuluftanlage: } A_2 = \frac{v_6^2}{2g(1+\alpha t_6)}\left(1+\frac{\varrho_6 l_6 u_6}{f_6}+\Sigma\zeta_6\right). \tag{66}$$

Zur Lösung dieser Gleichungen nehme man probeweise f_4 bezw. f_6 an, alsdann sind ϱ_4 und u_4 bezw. ϱ_6 und u_6 ebenfalls gegeben, und bestimme v_4 bezw. v_6. Diese so gefundenen erreichbaren Geschwindigkeiten müssen nach Früherem (s. S. 64) auch gleich den erforderlichen Geschwindigkeiten, d. h. es muss auch

$$v_4 = \frac{L(1+\alpha t_4)}{3600 f_4 (1+\alpha t)}, \tag{67}$$

$$v_6 = \frac{L(1+\alpha t_4)}{3600 f_6 (1+\alpha t)} \tag{68}$$

sein, wenn der stündliche Luftwechsel L im Raume in der Temperatur t gegeben ist.

Werden aus diesen letzten Gleichungen unter Einsetzung der probeweise angenommenen Querschnitte nicht die aus den Gl. 64 und 65 berechneten gefunden, so ist die Rechnung für die erreichbaren und erforderlichen Geschwindigkeiten unter anderer Annahme von f_4 bezw. f_6 zu widerholen.

Fall 2. *Lüftung ohne besondere Erwärmung der Abluft. Abluft- und Zuluftanlage erfahren gemeinsame Berechnung.*

Wie weit die gemeinsame Berechnung der in Fig. 12 gegebenen Abluft- und Zuluftanlage statthaft ist, hat auf S. 81 Erörterung gefunden. Die Gl. 65 und 66 sind zu addiren; es ergiebt sich dann die Gleichung:

$$A_1 + A_2 = \frac{v_4^2}{2g(1+\alpha t_4)}\left(1+\frac{\varrho_4 l_4 u_4}{f_4}+\Sigma\zeta_4\right) + \frac{v_6^2}{2g(1+\alpha t_6)}\left(1+\frac{\varrho_6 l_6 u_6}{f_6}+\Sigma\zeta_6\right). \tag{69}$$

Entweder ist in dieser Gleichung f_4 oder f_6 anzunehmen und somit ein Glied der rechten Seite zu einem bekannten zu machen

Digitized by Google

oder es wird — und dies ist vorzuziehen — zur Vermeidung ungünstiger Wahl nur das Verhältniss von f_4 zu f_6 angenommen, am einfachsten $f_4 = f_6$ und gleichzeitig $u_4 = u_6$ gesetzt. Alsdann verhält sich:

$$v_4 : v_6 = \frac{1}{1+\alpha t_6} : \frac{1}{1+\alpha t_4},$$

mithin ist:

$$v_6 = \frac{v_4 (1+\alpha t_6)}{1+\alpha t_4}. \qquad (70)$$

Dies in Gl. 68 eingesetzt, ergiebt dann einen Ausdruck, in dem nur noch wie bei Fall 1 in der Gleichung für die Abluftanlage ein unbekanntes v_4, f_4, ϱ_4 und u_4 enthalten ist. Die weitere Behandlung genau wie bei Fall 1. Die übrigen Kanalzüge der Anlage unterliegen gleicher Berechnung.

Fall 3. *Lüftung mit besonderer Erwärmung der Abluft. Abluft- und Zuluftanlage erfahren getrennte Berechnung; die Grenzebene der beiden Anlagen bildet die neutrale Zone.*

In der Anlage Fig. 12 soll an irgend einer passenden Stelle der Abluftanlage eine Wärmequelle angebracht sein. Bei gemeinsamer Erwärmung der Abluft aller Kanalzüge der Anlage muss diese Erwärmung im Abluftschachte möglichst am Fusse desselben stattfinden. Gewöhnlich werden dann zur Erhöhung und Sicherung des Effekts die einzelnen Abluftkanäle nicht wie in Fig. 12 steigend, sondern fallend angelegt und möglichst tief (Kellergeschoss) mit dem über Dach führenden Abluftschachte verbunden. Die Art und Weise der Berechnung bleibt stets die gleiche, nur ist für die fallenden Kanäle nach dem bisher Gesagten die wirksame Druckhöhe negativ in Rechnung zu setzen. Bei gegebener Stärke der Wärmequelle, also gegebener Temperatur, bleibt die Berechnung genau wie die in Fall 1 behandelte. Bei gesuchter Temperatur im Abluftschachte müssen alle übrigen Grössen entweder gegeben sein bezw. nach Massgabe des früher Gesagten (S. 84) gewählt werden. Findet die Erwärmung in Theilstrecke 1 statt, so ergiebt sich alsdann nach Einsetzung der Werthe in die Gleichung, wenn die algebraische Summe aller bekannten Ausdrücke wieder mit A_1 bezeichnet wird:

$$A_1 - \frac{h_1}{1+\alpha t_1} = \frac{v_1^2}{2g(1+\alpha t_1)}(1+Z_1). \qquad (71)$$

Zu dieser Gleichung tritt diejenige für die erforderliche Geschwindigkeit in der Theilstrecke 1, welche lautet:

$$v_1 = \frac{L(1+\alpha t_1)}{3600 f_1 (1+\alpha t)}, \qquad (72)$$

Digitized by Google

worin natürlich L die durch die Theilstrecke 1 hindurchströmende, in diesem Falle also die gesammte Luftmenge der ganzen Lüftungsanlage bedeutet. Wird in der letzten Gleichung, da auch f_1 infolge Wahl gegeben ist, die bekannte Grösse

$$\frac{L}{3600 f_1 (1+\alpha t)} = m$$

gesetzt, so ist:

$$v_1 = m(1+\alpha t_1). \tag{73}$$

Diesen Werth in Gl. 71 eingesetzt, giebt:

$$A_1 - \frac{h_1}{1+\alpha t_1} = \frac{m^2(1+\alpha t_1)}{2g}(1+Z_1). \tag{74}$$

Aus dieser für $1+\alpha t_1$ quadratischen Gleichung lässt sich t_1 ohne Schwierigkeit berechnen. Es ergiebt sich für $1+\alpha t_1$ ein Werth, der gleich n sein möge, dann ist:

$$t_1 = 273(n-1).$$

Wird t_1 zu gross, so müssen die Querschnitte einzelner Kanäle weiter gemacht werden. Hierdurch hat der auf S. 42 angeführte Fall der Berechnung der Ablufttemperatur Erledigung gefunden.

Da die Erwärmung der Abluft nur der Abluftanlage zu Gute kommen soll, so bleibt die Berechnung der Zuluftanlage genau wie in Fall 1, ebenso die Berechnung der übrigen Kanalzüge der Anlage, da für diese naturgemäss das einmal bestimmte t_1 beibehalten werden muss und alsdann dieselben Verhältnisse wie bei Fall 1 eintreten.

***Fall 4.** Lüftung mit besonderer Erwärmung der Abluft. Abluft- und Zuluftanlage erfahren getrennte Berechnung. In den zu lüftenden Räumen soll in der Grenzebene m m der beiden Anlagen nicht Gleichgewicht mit der Aussenluft, sondern Unterdruck von der Höhe H, gegeben in der Temperatur t_5, herrschen.*

Die Gleichungen lauten unter Beibehaltung von Fig. 10 genau wie in Fall 1, nur dass der Werth von $\frac{H}{1+\alpha t_5}$ der linken Seite der Gleichung für die Abluftanlage abgezogen, derjenigen der Gleichung für die Zuluftanlage zugefügt werden muss. Es ergiebt sich also als Gleichung der

$$\text{Abluftanlage: } A_1 - \frac{H}{1+\alpha t_5} = \frac{v_4^2}{2g(1+\alpha t_4)}(1+Z_4), \tag{75}$$

$$\text{Zuluftanlage: } A_2 + \frac{H}{1+\alpha t_5} = \frac{v_6^2}{2g(1+\alpha t_6)}(1+Z_6). \tag{76}$$

Die weitere Behandlung dieser Gleichungen behufs Lösung bleibt genau dieselbe wie in Fall 1, auch dann, wenn z. B. in die Staub-

Digitized by Google

kammer noch ein Filter eingefügt werden sollte, es ist dann nur A_2 um die durch das Filter verloren gehende Druckhöhe zu verkleinern.

Es kann vorkommen — z. B. bei einer Lüftungsanlage, durch welche die Räume auch erwärmt werden sollen, bei der aus baulichen Verhältnissen die Zuluftkanäle weite Querschnitte erhalten können, die Abluftanlage aber mit engen Querschnitten versehen werden muss —, dass auch bei besonderer Erwärmung der Abluft in den zu lüftenden Räumen H nicht als Unter-, sondern als Ueberdruck auftreten soll. In diesem Falle sind in den obigen Gleichungen nur die Vorzeichen von H zu verändern. Die Behandlung der übrigen Kanalzüge der Anlage bleibt die gleiche.

Fall 5. *Lüftung mit besonderer Erwärmung der Abluft. Abluft- und Zuluftanlage erfahren gemeinsame Berechnung; eine Berücksichtigung der Druckverhältnisse in den zu lüftenden Räumen findet nicht statt.*

Sind die Druckverhältnisse in den zu lüftenden Räumen ohne Bedeutung oder herrscht in der Zuluftanlage eine so geringe wirksame Druckhöhe, dass die Luftbewegung in dieser durch die Kraftwirkung der Abluftanlage mit bedingt werden muss, so sind in Fall 3 die betreffenden Gleichungen zu addiren. Das weitere Verfahren bleibt dasselbe.

Fall 6. *Drucklüftung oder Saugelüftung mittels Ventilatoren. Abluft- und Zuluftanlage erfahren getrennte Behandlung; der Ventilator soll nur für die Zuluft- oder nur für die Abluftanlage in Wirksamkeit treten. Die Grenzebene der beiden Anlagen bildet die neutrale Zone.*

Dieselbe Anlage wie in den vorhergehenden Fällen (Fig. 10), nur dass bei Drucklüftung etwa in Theilstrecke 10, bei Saugelüftung in Theilstrecke 1 ein Ventilator, ausserdem aber in beiden Fällen in Theilstrecke 11 ein Filter eingebaut ist. Da der Ventilator nur für die Zuluft- oder nur für die Abluftanlage in Wirksamkeit treten soll, so muss in der Grenzebene der Zuluft- und Abluftanlage ($m\,m$) die wirksame Druckhöhe der Anlage, welcher der Ventilator zugehört, aufgebraucht sein.

Es lautet somit bei Drucklüftung die Gleichung für die

$$\text{Abluftanlage: } \frac{h_1+h_2+h_3+h_4-h'_5}{1+\alpha t_0}-\frac{h_1}{1+\alpha t_1}-\frac{h_2}{1+\alpha t_2}-$$
$$-\frac{h_3}{1+\alpha t_3}-\frac{h_4}{1+\alpha t_4}+\frac{h'_5}{1+\alpha t_5}=\frac{v_1^2}{2g(1+\alpha t_1)}(1+Z_1)+$$
$$+\frac{v_2^2}{2g(1+\alpha t_2)}Z_2+\frac{v_3^2}{2g(1+\alpha t_3)}Z_3+\frac{v_4^2}{2g(1+\alpha t_4)}Z_4, \quad (77)$$

Digitized by Google

$$\text{Zuluftanlage: } \frac{-h''_5+h_6+h_9}{1+\alpha t_0}+\frac{h''_5}{1+\alpha t_5}-\frac{h_6}{1+\alpha t_6}-\frac{h_9}{1+\alpha t_9}+$$
$$+M-\frac{H_f}{1+\alpha t_{11}}=\frac{v_6^2}{2g(1+\alpha t_6)}(1+Z_6)+\frac{v_7^2}{2g(1+\alpha t_7)}Z_7+$$
$$+\frac{v_8^2}{2g(1+\alpha t_8)}Z_8+\frac{v_9^2}{2g(1+\alpha t_9)}Z_9+\frac{v_{10}^2}{2g(1+\alpha t_{10})}Z_{10}+0+$$
$$+\frac{v_{12}^2}{2g(1+\alpha t_{12})}(1+Z_{12}). \quad (78)$$

Bei Saugelüftung ist M nicht der linken Seite der Gleichung für die Zuluftanlage, sondern derjenigen für die Abluftanlage zuzufügen, im Uebrigen ändert sich nichts.

In dem ersten zur Berechnung gestellten Kanalzuge einer Lüftungsanlage können bei Drucklüftung sämmtliche Kanalquerschnitte der Zuluftanlage, bei Saugelüftung sämmtliche Kanalquerschnitte der Abluftanlage gewählt werden, somit sind in der Gleichung, die M enthält, alle Glieder bis auf M selbst bekannt; dasselbe ist somit ohne Schwierigkeit zu berechnen. Die Gleichung ohne M unterscheidet sich in nichts und somit auch nicht in der weiteren Behandlung von der entsprechenden Gleichung in Fall 1.

Bei den weiteren Kanalzügen der Anlage ist nunmehr M gegeben und müssen dieselben wie bei Fall 1 Erledigung finden.

Fall 7. *Drucklüftung oder Saugelüftung mittels Ventilatoren. Abluft- und Zuluftanlage erfahren getrennte Berechnung. In den zu lüftenden Räumen soll in der Grenzebene m m der beiden Anlagen nicht Gleichgewicht der Aussenluft, sondern ein Ueber- oder Unterdruck von der Höhe H, gegeben in der Temperatur t_5, herrschen.*

Die Gleichungen bleiben dieselben wie in Fall 6, nur dass bei Drucklüftung und Unterdruck in der Grenzebene der Zuluft- und Abluftanlage ($m\,m$) der linken Seite der Gleichung für die Abluftanlage $+\frac{H}{1+\alpha t_5}$, derjenigen der Gleichung für die Zuluftanlage $-\frac{H}{1+\alpha t_5}$ hinzugefügt wird; bei Saugelüftung und Unterdruck entsprechend $-\frac{H}{1+\alpha t_5}$ und $+\frac{H}{1+\alpha t_5}$.

Die weitere Behandlung der ersten und übrigen Kanalzüge wie in Fall 6.

Fall 8. *Drucklüftung oder Saugelüftung mittels Ventilatoren. Abluft- und Zuluftanlage erfahren gemeinsame Berechnung.*

Wie weit die gemeinsame Berechnung der Abluft- und Zuluftanlage statthaft ist oder erfolgen muss, hat auf S. 81 Erörterung erfahren.

Digitized by Google

Die zusammenhängenden Gleichungen für die Abluft- und Zuluftanlage in Fall 6 sind zu addiren. Alle Grössen bis auf M sind anzunehmen, dieses zu berechnen. Bei den weiteren Kanalzügen ist alsdann M gegeben und findet somit wie bei Fall 1 Erledigung.

V. Berechnung der Lüftungsanlagen in der Praxis.

In der Praxis kann man für die Berechnung 2 Fälle unterscheiden — der eine bezieht sich auf den dem Auftraggeber zu liefernden Entwurf, der andere auf den Entwurf für die Ausführung der Anlage.

Bei Abgabe des Entwurfs kommt es auf die allgemeine Anordnung der Anlage und ihrer einzelnen Theile und auf einen einzuhaltenden Kostenanschlag an, dagegen weniger auf die Angabe der genauen Maſse für die Kanäle; für die Ausführung dagegen müssen die letzteren genau ermittelt sein.

Ein genau in allen seinen Theilen berechneter Entwurf verursacht Arbeit und Kosten, die selbst durch Entschädigung nach den üblichen Sätzen meist nicht aufgewogen werden können. Es ist daher dem Auftragnehmer zu gestatten, zwei Berechnungen anzustellen, die erste für den Kostenanschlag, die zweite erst nach Uebertragung der Arbeit für die Ausführung.

a) Berechnung der Anlagen für den Kostenanschlag. Eine genaue Bestimmung müssen alle diejenigen Grössen bezw. Theile der Anlage erfahren, die auf den Entwurf selbst und auf den Kostenanschlag von Einfluss sind. Hierher gehören die meisten der im vorigen Kapitel angeführten Grössen bezw. Theile der Anlage. Diese Bestimmung erfordert keinen grossen Aufwand an Mühe und Zeit, ebensowenig die Feststellung der in die freie Wahl des Konstrukteurs gestellten Kanalquerschnitte. Grösseren Zeitaufwand allein erfordert die genaue Berechnung der wenigen nicht der freien Wahl unterliegenden Kanalquerschnitte (s. IV, A, 2, b dieses Kapitels). Für diese können, jedoch nur soweit der Kostenanschlag in Frage steht, niemals für die Ausführung, die Werthe der Tabelle 7 entnommen werden. Dieselbe hat keinerlei Anspruch auf Genauigkeit, sichert aber im Durchschnitte die Preise der nach derselben bestimmten Klappen, Schieber u. s. w.

Bei Ventilatorbetrieb ist auch für den Anschlag eine genaue Aufstellung der Gleichung für den ungünstigsten Kanalzug der Anlage nicht zu umgehen, insofern hierdurch allein die Grösse des Ventilators zu bestimmen ist. Da für diesen Kanalzug aber sämmtliche Kanalquerschnitte anzunehmen sind (vergl. S. 85), so ist auch diese Berechnung nicht sonderlich umständlich.

Ist bei Saugelüftung mittels besonderer Erwärmung der Abluft der Querschnitt des Abzugsschachtes gegeben und die Temperatur

Digitized by Google

der Abluft zu berechnen, so kann bei einiger Erfahrung für den Anschlag, jedoch nur für diesen, an Stelle der Berechnung die Taxe treten.

Bei grösseren und wichtigeren Anlagen sollten auch für den Kostenanschlag die Angaben über die von dem Auftragnehmer für die Ausführung beabsichtigte Berechnungsweise an der Hand von Beispielen, welche die in Frage stehende Anlage betreffen müssen, gefordert werden, da die Gewähr für eine zufriedenstellende Arbeit ebensowohl in der richtigen Berechnung, als in der zuverlässigen Ausführung zu suchen ist.

b) Berechnung der Anlagen für die Ausführung. Nach Ertheilung des Zuschlags auf Grund des Entwurfs und des Anschlags ist vom Auftragnehmer zu fordern, die genaue Berechnung auch auf die für den Anschlag nur überschläglich bestimmten Grössen bezw. Theile auszudehnen.

Es ist möglich, dass die genaue Berechnung noch Abänderungen des Entwurfs bedingt; diese sollten vom Auftraggeber im eigenen Interesse niemals abgelehnt werden, selbst wenn eine Kostensteigerung, die bei genügender Erfahrung des Auftragnehmers nur eine geringe sein kann, damit verknüpft ist. Die genaue Durchrechnung eines Entwurfs bedingt allerdings bedeutend mehr Zeit und Mühe als einfache auf praktischem Gefühle und willkürlichen Annahmen gegründete Faustrechnungen, sie allein aber sichert den geforderten Effekt der Anlage.

Die genaue Berechnung soll aber auch nicht zu weit geführt werden, d. h. nicht weiter, als die Wirklichkeit die Verwerthung der Berechnung gestattet. Jederzeit ist mit den baulichen Verhältnissen zu rechnen, und in der Regel werden bei Ausführung der Kanäle gewisse Maſse (Mauermaſse, Handelsmaſse) einzuhalten sein, so dass die berechneten Werthe vielfach eine Erhöhung erfahren müssen. Z. B. wird ein Kanalquerschnitt berechnet zu 0,27 m $\times$ 0,312 m in der Praxis niemals ausgeführt, sondern auf das Mauermaſs 0,27 $\times$ 0,33 abgerundet werden.

Die genaue Berechnung hat somit in erster Linie den Zweck, keine zu klein bemessenen, in zweiter Linie keine unnöthig grossen Kanalquerschnitte zu erhalten.

Sofern an diesem Grundsatze festgehalten wird, lässt sich für die Berechnung noch insofern eine wesentliche Vereinfachung herbeiführen, als — wie dies bei den folgenden Beispielen nähere Erörterung finden wird — von einer Anlage nur wenige Kanalzüge eine genaue Durchrechnung zu erfahren brauchen, die Querschnitte der übrigen Kanäle sich im Anschlusse an diese in leichtester Weise bestimmen lassen. Jedenfalls sind stets die Kanalzüge der ungünstigst gelegenen Räume, d. h. des ungünstigst gelegenen Raumes eines jeden Stockwerks, genau zu berechnen, bei einer Horizontalausdehnung der An-

Digitized by Google

lage von etwa 8—10 m auch diejenigen der günstigst gelegenen Räume, bei grösserer Horizontalausdehnung auch noch Kanalzüge für in der Mittellage befindliche Räume. Das Nähere kann erst durch die Beispiele Erläuterung finden und muss daher auf diese, insonderheit auf Beispiel 1, verwiesen werden.

Es empfiehlt sich, zu Zwecken der Uebersichtlichkeit sowohl für den Kostenanschlag, wie für die Ausführung eine Zusammenstellung der in Frage kommenden Grössen und Werthe in Gestalt einer Tabelle — etwa mit nachstehendem Kopfe — anzufertigen. Für den Vorentwurf und Kostenanschlag sind bei Anlagen mit Temperaturdifferenz nur die Spalten 1 bis einschl. 6, bei Anlagen mit Drucklüftung oder Saugelüftung mittels Exhaustors für den Kanalzug eines und zwar des ungünstigst gelegenen Raumes auch noch die Spalten 7 bis einschl. 11 auszufüllen. Erst für die Ausführung sind die sämmtlichen Spalten der Tabelle, aber auch nur für die wenigen genau zu berechnenden Kanalzüge, zu ergänzen.

Nr. der Theilstrecke	Luftmenge	Temperatur	Geschwindigkeit	Kanalquerschnitt		Kanal		Widerstände Z		$\frac{v^2}{2g(1+\alpha t)} Z$ bezw. $\frac{v^2}{2g(1+\alpha t)}(1+Z)$
				Fläche	Abmessung	Länge	Höhe	Reibung	Einmalige	
	L	t	v	f		l	h	R	$\Sigma\zeta$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Soweit die Bestimmung der einzelnen Spalten nicht ohne Weiteres aus der Ueberschrift hervorgeht, ist Folgendes zu sagen. Es bedeuten in

Spalte 2: L die stündliche Luftmenge in cbm, die in der betreffenden Theilstrecke zu fördern ist.

Spalte 3: t die Temperatur in der betreffenden Theilstrecke.

Spalte 4: v die für die betreffende Theilstrecke angenommene oder gegebene sekundliche Geschwindigkeit der Luft. Inwieweit Annahmen erfolgen können, s. S. 83. Ist für einen Kanal nicht die Geschwindigkeit, sondern nach baulichen Verhältnissen der Querschnitt f zu wählen, so berechnet sich die Geschwindigkeit v früher Gesagtem zufolge nach dem Ausdrucke: $v = \frac{L}{3600 f}$.

Spalte 5 und 6: f den angenommenen oder aus v nach dem Ausdrucke: $f = \frac{L}{3600 v}$ bestimmten Querschnitt der Theilstrecke.

Digitized by Google

Spalte 7 und 8: l bezw. h die Länge bezw. Höhe der Theilstrecke. Es ist $h = 0$ zu setzen, sofern ein Kanal eine horizontale Lage besitzt.

Spalte 9: R den für die Reibung einzusetzenden Werth; derselbe ist nach dem Ausdrucke: $R = \frac{\varrho l u}{f}$ zu bestimmen. (Für $\frac{\varrho u}{f}$ benutze Tabelle 9).

Spalte 10: $\Sigma\zeta$ den für die Summe der einmaligen Widerstände in der betreffenden Theilstrecke anzunehmenden Werth (s. S. 74). $Z = R + \Sigma\zeta$.

Spalte 11: die angeführten Ausdrücke die Werthe für die Widerstandshöhe bezw. Geschwindigkeits- und Widerstandshöhe.

Die Tabelle ist mit allen Werthen auszufüllen, die gegeben oder bestimmbar sind, alle noch unbekannten und erst zu berechnenden Grössen können nach erfolgter Bestimmung eingetragen werden. Durch die folgenden Beispiele wird der Gang der Berechnung und die Benutzung der Tabelle noch weiter klargelegt werden.

Zwecks bequemerer Berechnung ist es zu empfehlen, für die in Rechnung zu ziehenden Räume eine in eine Ebene gebrachte schematische Darstellung der Anlage anzufertigen.

VI. Beispiele für Berechnung von Lüftungsanlagen.

A) Lüftung mittels Temperaturdifferenz ohne besondere Erwärmung der Abluft.

1. Abluft und Zuluftanlage erfahren getrennte Berechnung. Die Grenzebene der beiden Anlagen bildet die neutrale Zone (s. S. 22 und 80).

Beispiel 1. Aufgabe. Zu lüften sind 8 Räume, jeder Raum hat 34 junge Männer aufzunehmen, für die Person ist ein Luftwechsel von 20 cbm zu rechnen. Länge eines jeden Raumes: 8 m, Breite: 5 m, Höhe: 4,2 m. Innentemperatur in Kopfhöhe: + 20°, Einströmungstemperatur der Luft: + 20°. Höchste Aussentemperatur, bis zu welcher der volle Luftwechsel erzielt werden soll: 0°. Niedrigste Aussentemperatur, bis zu welcher der volle Luftwechsel erzielt werden soll: — 10°. Die Räume werden nur bei Tagesbeleuchtung benutzt. Die neutrale Zone (Gleichgewichtslage der inneren mit der äusseren Luft) befinde sich nach dem auf S. 77 Gesagten in der Mitte der zu lüftenden Räume. Die Tiefe der Querschnitte der aufsteigenden Einzelkanäle soll 0,27 m betragen.

Lösung der Aufgabe. Von der Aufstellung der auf S. 97 empfohlenen Zusammenstellung soll für dieses Beispiel Abstand genommen werden und dieselbe erst bei den nächsten Beispielen Anwendung finden, um durch die ausführliche Behandlung zunächst die Berechnungsweise bis in alle Einzelheiten klar zu stellen und Folgerungen für den bereits angedeuteten Umfang der Zusammenstellung machen zu können.

Digitized by Google

Für den Vorentwurf und Kostenanschlag.

a) Luftwechsel in den einzelnen Räumen. Es beträgt der stündliche Luftwechsel für eine Person 20 cbm, im Ganzen somit $20 \times 34 = 680$ cbm für jeden Raum.

Der Inhalt eines Raumes beträgt 168 cbm: es ergiebt sich mithin ein $\frac{680}{168} =$ 4,5facher Luftwechsel: derselbe ist einhaltbar (vgl. S. 13).

b) Luftmenge, die bei der niedrigsten Aussentemperatur von $-10°$ zu entnehmen und am Heizapparate zu erwärmen ist. Die Luftmenge ergiebt sich:

$$L_0 = \frac{8 \cdot 680\,(1 - \alpha \cdot 10)}{1 + \alpha \cdot 20} = \frac{\text{(unter Benutzung von Tabelle 2)}}{} \; 8 \cdot 680 \cdot 0{,}898 = 4883 \text{ cbm von } -10°.$$

c) Disposition der Anlage. Fig. 13 zeigt die Anlage in schematischer Darstellung; dieselbe ergiebt für jeden der ungünstigst gelegenen Räume *I* und *II* je

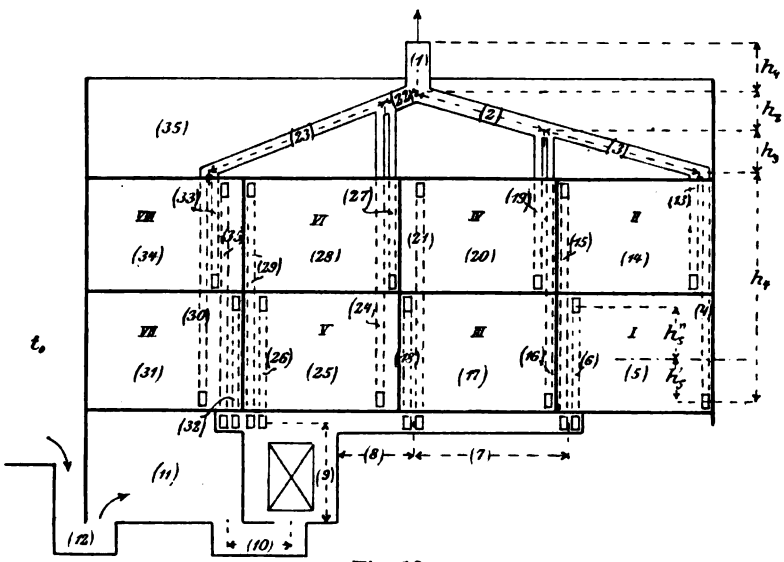


Fig. 13.

12 Theilstrecken, für die Räume *III* und *IV* je 10 Theilstrecken, für die Räume *V* und *VI* je 9 Theilstrecken und für die Räume *VII* und *VIII* je 11 Theilstrecken.

d) Luftmengen, die durch die Theilstrecken der Kanalzüge des ungünstigst gelegenen Raumes eines jeden Stockwerks bei der höchsten Aussentemperatur zu fördern sind.

Theilstrecke 1.	Luftmenge:	$680 \cdot 8 = 5440$	cbm	von	$20°$
„ 2.	„	$680 \cdot 4 = 2720$	„	„	$20°$
„ 3.	„	$680 \cdot 2 = 1360$	„	„	$20°$
„ 4, 5 und 6.	„	$680 \cdot 1 = 680$	„	„	$20°$
„ 7.	„	$680 \cdot 2 = 1360$	„	„	$20°$
„ 8.	„	$680 \cdot 4 = 2720$	„	„	$20°$
„ 9.	„	$\frac{680 \cdot 8\,(1 + \alpha \cdot 10)}{1 + \alpha \cdot 20} = 5255$	„	„	$10°$
„ 10, 11 und 12.	„	$\frac{680 \cdot 8\,(1 + \alpha \cdot 0)}{1 + \alpha \cdot 20} = 5068$	„	„	$0°$
„ 13, 14 und 15.	„	$680 \cdot 1 = 680$	„	„	$20°$

Digitized by Google

e) Geschwindigkeiten der Luft bezw. Kanalquerschnitte für die ungünstigst gelegenen Räume eines jeden Stockwerks, soweit dieselben angenommen werden können oder gegeben sind.

Theilstrecke 1. Angenommen $v_1 = 1{,}4$ m, also Kanalquerschnitt

$$f_1 = \frac{5440}{3600 \cdot 1{,}4} = 1{,}08 \text{ qm} = 0{,}75 \text{ m} \times 1{,}44 \text{ m},$$

„ 2. „ $v_2 = 1{,}2$ m, also Kanalquerschnitt

$$f_2 = \frac{2720}{3600 \cdot 1{,}2} = 0{,}63 \text{ qm} = 0{,}50 \text{ m} \times 1{,}26 \text{ m},$$

„ 3. „ $v_3 = 1{,}2$ m, also Kanalquerschnitt

$$f_3 = \frac{1360}{3600 \cdot 1{,}2} = 0{,}315 \text{ qm} = 0{,}40 \text{ m} \times 0{,}79 \text{ m},$$

„ 4. Unbekannt (durch Berechnung zu finden),

„ 5. $v_5 = 0$,

„ 6. Unbekannt (durch Berechnung zu finden),

„ 7. Angenommen $f_7 = 0{,}94$ qm $= 0{,}40$ m $\times 2{,}35$ m,

$$\text{also } v_7 = \frac{1360}{3600 \cdot 0{,}94} = 0{,}4 \text{ m},$$

„ 8. „ $f_8 = 0{,}94$ qm $= 0{,}40$ m $\times 2{,}35$ m,

$$\text{also } v_8 = \frac{2720}{3600 \cdot 0{,}94} = 0{,}8 \text{ m},$$

„ 9. Gegeben durch Heizapparat und bauliche Verhältnisse

$$f_9 = 5{,}5 \text{ qm}, \text{ also } v_9 = \frac{5255}{3600 \cdot 5{,}5} = 0{,}265 \text{ m},$$

„ 10. Angenommen $v_{10} = 0{,}7$ m, also Kanalquerschnitt

$$f_{10} = \frac{5068}{3600 \cdot 0{,}7} = 2{,}011 \text{ m} = 0{,}8 \text{ m} \times 2{,}51 \text{ m},$$

„ 11. „ $v_{11} = 0$,

„ 12. „ $v_{12} = 0{,}06$ m, also Kanalquerschnitt

$$f_{12} = \frac{5068}{3600 \cdot 0{,}6} = 2{,}35 \text{ qm} = 1 \text{ m} \times 2{,}35 \text{ m},$$

„ 13. Unbekannt (durch Berechnung zu finden),

„ 14. $v_{14} = 0$,

„ 15. Unbekannt (durch Berechnung zu finden).

f) Bestimmung der angenäherten Kanalquerschnitte für die in der Aufstellung unter e) als „Unbekannt" bezeichneten Theilstrecken mittels Tabelle 7. Da die Grenzebene der Abluft- und Zuluftanlage die neutrale Zone bilden, diese aber in Mitte der Räume liegen soll, so ist die für die Tabelle 7 massgebende Kanalhöhe ebenfalls von der neutralen Zone an zu rechnen. Somit ist die

Höhe von der Abströmung der Luft über Fussboden bis über Dach:
für die Erdgeschossräume rund 11,5 m, für die Räume des I. Stocks rund 7 m.

Höhe von Mitte Heizkammer bis Einströmung der Luft:
für die Erdgeschossräume rund 4 m, für die Räume des I. Stocks rund 8,5 m.

Bei 20° Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen ist nach Tabelle 7 (zum Theile schätzungsweise) zu entnehmen:

für das Erdgeschoss $v_4 = 1{,}6$ m, also

$$f_4 = \frac{680}{3600 \cdot 1{,}6} = 0{,}118 \text{ qm} \sim 0{,}27 \text{ m} \times 0{,}46 \text{ m},$$

Digitized by Google

für das Erdgeschoss $v_6 = 0{,}85$ m, also

$$f_6 = \frac{680}{3600 \cdot 0{,}85} = 0{,}221 \text{ qm} \sim 0{,}27 \text{ m} \times 0{,}92 \text{ m},$$

für den I. Stock $v_{13} = 1{,}27$ m, also

$$f_{13} = \frac{680}{3600 \cdot 1{,}27} = 0{,}149 \text{ qm} \sim 0{,}27 \text{ m} \times 0{,}66 \text{ m},$$

für den I. Stock $v_{15} = 1{,}4$ m, also

$$f_{15} = \frac{680}{3600 \cdot 1{,}4} = 0{,}135 \text{ qm} \sim 0{,}27 \text{ m} \times 0{,}53 \text{ m}.$$

Für die Ausführung.

Die Bestimmungen unter a) bis e) bleiben dieselben, f) fällt aus, dagegen tritt hinzu:

g) Temperaturbestimmung. t_0 (höchste äussere Temperatur) $= 0°$, $t_1 = t_2 = t_3 = t_4 = t_5 = t_7 = t_8 = 20°$, $t_9 = \frac{0+20}{2} = 10°$; $t_{10} = t_{11} = t_{12} = 0°$.

Temperatur unter der Decke der Räume (s. Gl. 21a):

$$t = 20 + 0{,}1 \cdot 20\,(4{,}2 - 3) = 22{,}4°.$$

Mittlere Temperatur der Räume zwischen Fussboden und Decke:

$$t_6 = t_{14} = \frac{20 + 22{,}4}{2} = 21{,}2°, \text{ also genau genug } t_6 = t_{14} = 21°.$$

h) Zusammenstellung der durch die Anordnung gegebenen und für die Berechnung erforderlichen Längen und Höhen der Kanäle der ungünstigst gelegenen Räume eines jeden Stockwerks.

		Länge	Höhe
Theilstrecke	1.	$l_1 = 2{,}0$ m,	$h_1 = 2{,}0$ m,
„	2.	$l_2 = 8{,}0$ m,	$h_2 = 1{,}0$ m,
„	3.	$l_3 = 8{,}1$ m,	$h_3 = 1{,}0$ m,
„	4.	$l_4 = 9{,}5$ m,	$h_4 = 9{,}0$ m,
„	5.	l_5 fällt aus,	$h_5' = 1{,}6$ m,
			$h_5'' = 1{,}6$ m,
„	6.	$l_6 = 5{,}5$ m,	$h_6 = 4{,}5$ m,
„	7.	$l_7 = 8{,}0$ m,	$h_7 = 0{,}0$ m,
„	8.	$l_8 = 6{,}0$ m,	$h_8 = 0{,}0$ m,
„	9.	$l_9 = 2{,}6$ m,	$h_9 = 2{,}2$ m,
„	10.	$l_{10} = 4{,}0$ m,	$h_{10} = 0{,}0$ m,
„	11.	l_{11} fällt aus,	$h_{11} = 0{,}0$ m,
„	12.	$l_{12} = 5{,}0$ m,	$h_{12} = 0{,}0$ m,
„	13.	$l_{13} = 5{,}0$ m,	$h_{13} = 4{,}5$ m,
„	14.	l_{14} fällt aus,	$h_{14}' = 1{,}6$ m,
			$h_{14}'' = 1{,}6$ m,
„	15.	$l_{15} = 10$ m,	$h_{15} = 9$ m.

i) Bestimmung der Reibungswiderstände (R) und der Summe der einmaligen Widerstände ($\Sigma\zeta$) für die unter h) angegebenen Theilstrecken. Allgemein ist: $Z = R + \Sigma\zeta = \frac{\varrho l u}{f} + \Sigma\zeta$ (s. S. 73, sowie Tabelle 9).

Theilstrecke 1. $R_1 = \frac{0{,}007 \cdot 2 \cdot 4{,}38}{1{,}08} = 0{,}057$, $\Sigma\zeta_1 = 0$,

Digitized by Google

Theilstrecke 2. $R_2 = \frac{0{,}007 \cdot 8 \cdot 3{,}52}{0{,}63} = 0{,}313$, $\Sigma\zeta_2 = 1{,}5$,
(ein rechtwinkeliges Knie),

„ 3. $R_3 = \frac{0{,}007 \cdot 8{,}1 \cdot 2{,}38}{0{,}315} = 0{,}428$, $\Sigma\zeta_3 = 1{,}5$,
(ein rechtwinkeliges Knie),

„ 4. $R_4 = \frac{\varrho_4 9{,}5 \cdot u_4}{f_4}$, $\left(\text{Raum II: } R_4 = \frac{\varrho_4 \cdot 5 \cdot u_4}{f_4}\right)$, $\Sigma\zeta_4 = 1{,}5$,
(ein rechtwinkeliges Knie = 1,5, eine Klappe = 0, ein weitmaschiges Drahtgitter = 0),

„ 5. R_5 fällt aus, da $v_5 = 0$, desgl. $\Sigma\zeta_5$,

„ 6. $R_6 = \frac{\varrho_6 5{,}5 \cdot u_6}{f_6}$, $\Sigma\zeta_6 = 2$,
(2 rechtwinkelige Bogen = 2, eine Klappe = 0, ein weitmaschiges Drahtgitter = 0),

„ 7. $R_7 = \frac{0{,}007 \cdot 8 \cdot 5{,}5}{0{,}94} = 0{,}328$, $\Sigma\zeta_7 = 1$,

„ 8. $R_8 = \frac{0{,}007 \cdot 6 \cdot 5{,}5}{0{,}94} = 0{,}246$, $\Sigma\zeta_8 = 0$,

„ 9. $R_9 = \frac{0{,}0065 \cdot 2{,}6 \cdot 14{,}5}{5{,}4} = 0{,}045$, $\Sigma\zeta_9 = 4{,}510$,
$\left(\left(\frac{f_9}{f_{10}} - 1\right)^2 = 3{,}01 + \text{eine rechtwinkelige Richtungsänderung} = 1{,}5\right)$
(u_9 ist Umfang von Heizkammer und Heizkörper).

„ 10. $R_{10} = \frac{0{,}007 \cdot 4 \cdot 6{,}62}{2{,}011} = 0{,}092$, $\Sigma\zeta_{10} = 2$,

„ 11. R_{11} fällt aus, da $v_{11} = 0$, $\Sigma\zeta_{11}$ fällt aus,

„ 12. $R_{12} = \frac{0{,}007 \cdot 5 \cdot 6{,}7}{2{,}3} = 0{,}1$, $\Sigma\zeta_{12} = 2{,}75$,
(1 Gitter = 0,75, 2 rechtwinkelige Bogen = 2, eine Klappe = 0),

„ 13. $R_{13} = \frac{\varrho_{13} \cdot 5 u_{13}}{f_{13}}$, $\Sigma\zeta_{13} = 1{,}5$ (wie bei Theilstrecke 4),

„ 14. R_{14} fällt aus, da $v_{14} = 0$, desgl. $\Sigma\zeta_{14}$,

„ 15. $R_{15} = \frac{\varrho_{15} 10 u_{15}}{f_{15}}$, $\Sigma\zeta_{15} = 2$ (wie bei Theilstrecke 6).

k) Berechnung der in der Abluftanlage für Raum I noch unbekannten Theilstrecke 4. *α*) Erforderliche Geschwindigkeit im Abluftkanale gemäss Gl. 33. Da $t = t_4 = 20°$, ist:

$$v_4 = \frac{L(1 + \alpha t_4)}{3600(1 + \alpha t) f_4} = \frac{680}{3600 f_4} = \frac{0{,}189}{f_4}.$$

β) Wirksame Druckhöhe (linke Seite der Gleichung für die erreichbare Geschwindigkeit, s. Gl. 61).

$$\left(\frac{h_1}{1+\alpha t_0} - \frac{h_1}{1+\alpha t_1}\right) + \left(\frac{h_2}{1+\alpha t_0} - \frac{h_2}{1+\alpha t_2}\right) + \left(\frac{h_3}{1+\alpha t_0} - \frac{h_3}{1+\alpha t_3}\right) +$$
$$+ \left(\frac{h_4}{1+\alpha t_0} - \frac{h_4}{1+\alpha t_4}\right) - \left(\frac{h_5'}{1+\alpha t_0} - \frac{h_5'}{1+\alpha t_5}\right) = \frac{1}{1+\alpha 0}(2+1+1+9-1{,}6) -$$
$$- \frac{1}{1+\alpha 20}(2+1+1+9) + \frac{1{,}6}{1+\alpha 21} = 0{,}770 \text{ m}.$$

(Die Werthe von $1 + \alpha t$ und $\frac{1}{1+\alpha t}$ sind der Tabelle 1 zu entnehmen.)

γ) Geschwindigkeits- und Widerstandshöhen (die Summe bildet die rechte Seite der Gleichung für die erreichbare Geschwindigkeit, s. Gl. 61).

Digitized by Google

Theilstrecke 1.

$$\frac{v_1^2}{2g(1+\alpha t_1)}(1+Z_1) = \frac{1{,}4^2}{2g(1+\alpha\cdot 20)}(1+0{,}057+0) = \frac{1{,}931}{2g}$$

Theilstrecke 2.

$$\frac{v_2^2}{2g(1+\alpha t_2)}Z_2 = \frac{1{,}2^2}{2g(1+\alpha\cdot 20)}(0{,}313+1{,}5) = \frac{2{,}433}{2g}$$

Theilstrecke 3.

$$\frac{v_3^2}{2g(1+\alpha t_3)}Z_3 = \frac{1{,}2^2}{2g(1+\alpha\cdot 20)}(0{,}428+1{,}5) = \frac{2{,}588}{2g}$$

$$\Big\} \frac{6{,}952}{2g},$$

Theilstrecke 4.

$$\frac{v_4^2}{2g(1+\alpha t_4)}(R_4+\Sigma\zeta_4) = \frac{v_4^2}{2g(1+\alpha\cdot 20)}\left(\frac{9{,}5\varrho_4 u_4}{f_4}+1{,}5\right).$$

δ) Gleichung für die erreichbare Geschwindigkeit.

$$0{,}770 = \frac{1}{2g}\left\{6{,}952+\frac{v_4^2}{1+\alpha 20}\left(\frac{\varrho_4 9{,}5\cdot u_4}{f_4}+1{,}5\right)\right\},$$

woraus die erreichbare Geschwindigkeit sich ergiebt:

$$v_4 = \sqrt{\frac{8{,}7507}{\frac{9{,}5\cdot\varrho_4 u_4}{f_4}}}+1{,}5.$$

ε) Bestimmung des Querschnitts f_4. Die erreichbare Geschwindigkeit v_4 darf keinesfalls kleiner als die erforderliche sein.

Wählt man probeweise $f_4 = 0{,}27\text{ m} \times 0{,}40\text{ m} = 0{,}108$ qm, so ist

die erforderliche Geschwindigkeit: $v_4 = \frac{0{,}189}{0{,}108} = 1{,}75$ m,

die erreichbare Geschwindigkeit: $v_4 = \sqrt{\frac{8{,}7507}{9{,}5\cdot 0{,}089+1{,}5}} = 1{,}93$ m.

(Der Werth $\frac{\varrho u}{f}$ ist der Tabelle 9 zu entnehmen.)

Die erreichbare Geschwindigkeit ist etwas zu gross, d. h. bei 0° Aussentemperatur können $1{,}93\cdot 3600\cdot 0{,}108 = 750$ cbm Luft von 20°, statt wie verlangt, nur 680 cbm durch den Kanal gefördert werden, trotzdem ist der Querschnitt beizubehalten, da der nächst kleinere eine erforderliche, aber nicht erreichbare Geschwindigkeit von 2,12 m ergiebt. Es muss durch Einschaltung einer Klappe, die entsprechend eingestellt wird und für immer in der Lage verbleibt, dem zu grossen Luftwechsel vorgebeugt werden.

ι) Berechnung der noch unbekannten Querschnitte der Abluftkanäle für die übrigen Räume des Erdgeschosses. Bei Anlagen, bei denen die einmaligen Widerstände in den Einzel-Abluftkanälen (wie meist) die gleichen sind und bei denen die horizontale Führung der Abluft keine oder keine nennenswerthe Verschiedenheit aufweist, z. B. wenn die Kanäle unter Dach münden und jeder für sich über Dach geleitet wird oder die Sammelkanäle sehr kurz sind, kann, da die Reibungswiderstände gegenüber den einmaligen Widerständen von nur geringem Einflusse sind, die für den ungünstigst gelegenen Kanal berechnete erreichbare Geschwindigkeit als die erforderliche der übrigen Kanäle desselben Stockwerks angesehen und mit Hilfe dieser und dem vorgeschriebenen Luftwechsel die Querschnitte nach dem Ausdrucke $f = \frac{L}{3600\cdot v}$ berechnet werden. Bei ungleicher und nicht unbedeutender Horizontalführung der Abluft — wie im vorliegenden Falle —

Digitized by Google

empfiehlt es sich, für den günstigst gelegenen Raum die Rechnung zu wiederholen. Es wird sich dann für die dazwischenliegenden Kanäle desselben Stockwerks leicht nach Schätzung entscheiden lassen, mit welcher Geschwindigkeit die Querschnitte zu bestimmen sind. Bei sehr bedeutender Horizontalführung der Abluft ist es unter Umständen erforderlich, die Räume nach ihrer Lage gruppenweise zu behandeln, d. h. nicht nur für den ungünstigst und günstigst gelegenen Raum, sondern für jede Gruppe von Räumen eines Stockwerks die genaue Berechnungsweise durchzuführen.

Im vorliegenden Beispiele ist der günstigst gelegene Raum der Raum *V*. Für diesen bleibt naturgemäss die wirksame Druckhöhe dieselbe, also 0,770 m, dagegen ist die Theilstrecke 24 etwa 12 m lang, die Theilstrecken 2 und 3 fallen fort. Das kurze Stück Sammelkanal (Theilstrecke 22) bleibe unberücksichtigt. Alsdann ergiebt sich:

$$\text{die erreichbare Geschwindigkeit: } v_{24} = \sqrt{\frac{14{,}1378}{\frac{\varrho_{24} 12 \cdot u_{24}}{f_{24}} + 1{,}5}}.$$

Für $f_{24} = 0{,}27 \text{ m} \times 0{,}40 \text{ m}$ wird

$$\text{die erforderliche Geschwindigkeit: } v_{24} = 1{,}75 \text{ m},$$
$$\text{die erreichbare Geschwindigkeit: } v_{24} = 2{,}34 \text{ m}.$$

Es kann also der nächst kleinere Kanalquerschnitt, d. h. $0{,}27 \text{ m} \times 0{,}33 \text{ m}$, genommen werden, da für diesen

$$\text{die erforderliche Geschwindigkeit: } v_{24} = 2{,}12 \text{ m},$$
$$\text{die erreichbare Geschwindigkeit: } v_{24} = 2{,}28 \text{ m}$$

sich ergiebt.

Ohne Schwierigkeit ist nunmehr zu ersehen, dass auch ohne Wiederholung dieser Rechnung die Querschnitte der übrigen Abluftkanäle des Erdgeschosses bestimmt werden können, d. h. die erreichbare Geschwindigkeit der Abluft im Kanale 4 ist auch den übrigbleibenden Querschnitten zu Grunde zu legen, da die Kanäle wesentlich ungünstiger als die des Raumes *V* liegen. Da in allen Räumen der gleiche Luftwechsel stattfinden soll, ergiebt sich somit auch der gleiche Querschnitt des Abluftkanals für Raum *III* und *VII* wie derjenige für Raum *I*.

m) Berechnung der Querschnitte der Abluftkanäle für Raum *II* und die übrigen Räume des I. Stocks. *α*) Erforderliche Geschwindigkeit im Abluftkanale des Raumes *II*

$$v_{13} = \frac{680}{3600 f_{13}} = \frac{0{,}189}{f_{13}}.$$

β) Erreichbare Geschwindigkeit im Abluftkanale des Raumes *II*. Die Gleichung bleibt dieselbe wie für Raum *I*, nur sind die entsprechenden Höhen und Längen der Theilstrecke 13 einzuführen. Danach ist:

$$v_{13} = \sqrt{\frac{2{,}3091}{\frac{5 \cdot \varrho_{13} u_{13}}{f_{13}} + 1{,}5}}.$$

γ) Bestimmung des Querschnitts f_{13}. Wählt man probeweise $f_{13} = 27 \text{ m} \times 0{,}66 \text{ m} = 0{,}178 \text{ qm}$, so ergiebt sich

$$\text{die erforderliche Geschwindigkeit: } v_{13} = \frac{0{,}189}{0{,}178} = 1{,}06,$$

$$\text{die erreichbare Geschwindigkeit: } v_{13} = \sqrt{\frac{2{,}3091}{5 \cdot 0{,}073 + 1{,}5}} = 1{,}11 \text{ m}.$$

Dieser Querschnitt ist beizubehalten, da der nach Mauermafs nächst kleinere Quer-

Digitized by Google

schnitt $0{,}27\,\text{m} \times 0{,}53\,\text{m} = 0{,}143\,\text{qm}$ eine erforderliche, aber nicht erreichbare Geschwindigkeit von $\frac{0{,}189}{0{,}143} = 1{,}32\,\text{m}$ ergiebt.

Für die übrigen Räume des I. Stocks gilt dasselbe, was für die entsprechenden Räume des Erdgeschosses gesagt worden ist. Für die Räume *IV* und *VIII* ist der gleiche Querschnitt wie vorberechnet beizubehalten, für Raum *VI*, als den günstigst gelegenen, berechnet sich der Kanalquerschnitt f_{87} zu $0{,}27\,\text{m} \times 0{,}53\,\text{m}$.

a) Berechnung der in der Zuluftanlage für Raum *I* noch unbekannten Theilstrecke 6. Genau nach Vorgang der Berechnung der Abluftanlage wird die Zuluftanlage berechnet.

α) Erforderliche Geschwindigkeit im Zuluftkanale. Da $t_6 = 20°$ ist ergiebt sich:

$$v_6 = \frac{680}{3600\, f_6} = \frac{0{,}189}{f_6}.$$

β) Wirksame Druckhöhe (linke Seite der Gleichung für die erreichbare Geschwindigkeit, s. Gl. 62).

$$-\left(\frac{h_5''}{1+\alpha t_0} - \frac{h_5''}{1+\alpha t_5}\right) + \left(\frac{h_6}{1+\alpha t_0} - \frac{h_6}{1+\alpha t_6}\right) + \left(\frac{h_9}{1+\alpha t_0} - \frac{h_9}{1+\alpha t_9}\right) =$$
$$= \frac{1}{1+\alpha t_0}(-1{,}6 + 4{,}5 + 2{,}2) + \frac{1{,}6}{1+\alpha 21} - \frac{4{,}5}{1+\alpha 20} - \frac{2{,}2}{1+\alpha 10} = 0{,}269\,\text{m}.$$

γ) Geschwindigkeits- und Widerstandshöhen.

Theilstrecke 6.

$$\frac{v_6^2}{2g(1+\alpha t_6)}(1 + R_6 + \Sigma\zeta_6) = \frac{v_6^2}{2g(1+\alpha\cdot 20)}\left(1 + \frac{5{,}5\,\varrho_6 u_6}{f_6} + 2\right)$$

Theilstrecke 7.

$$\frac{v_7^2}{2g(1+\alpha t_7)} Z_7 = \frac{0{,}4^2}{2g(1+\alpha\cdot 20)}\,1{,}328 = \frac{0{,}198}{2g}\,\text{m}$$

Theilstrecke 8.

$$\frac{v_8^2}{2g(1+\alpha t_8)} Z_8 = \frac{0{,}8^2}{2g(1+\alpha\cdot 20)}\,0{,}246 = \frac{0{,}147}{2g}\,\text{m}$$

Theilstrecke 9.

$$\frac{v_9^2}{2g(1+\alpha t_9)} Z_9 = \frac{0{,}265^2}{2g(1+\alpha\cdot 10)}\,4{,}555 = \frac{0{,}309}{2g}\,\text{m}$$

Theilstrecke 10.

$$\frac{v_{10}^2}{2g(1+\alpha t_{10})} Z_{10} = \frac{0{,}7^2}{2g(1+\alpha\cdot 0)}\,2{,}092 = \frac{1{,}025}{2g}\,\text{m}$$

Theilstrecke 11. 0

Theilstrecke 12.

$$\frac{v_{12}^2}{2g(1+\alpha t_{12})}(1 + Z_{12}) = \frac{0{,}6^2}{2g(1+\alpha\cdot 0)}\,3{,}85 = \frac{1{,}386}{2g}\,\text{m}$$

$$\Bigg\} \frac{3{,}065}{2g}.$$

δ) Gleichung für die erreichbare Geschwindigkeit im Zuluftkanale des Raumes *I*.

$$0{,}269 = \frac{1}{2g}\left\{3{,}065 + \frac{v_6^2}{1+\alpha\cdot 20}\left(\frac{\varrho_6 5{,}5\, u_6}{f_6} + 3\right)\right\},$$

also ist:

$$v_6 = \sqrt{\frac{2{,}3745}{\frac{5{,}5\,\varrho_6 u_6}{f_6} + 3}}.$$

Digitized by Google

e) **Bestimmung des Querschnitts f_6.** Wählt man probeweise $f_6 = 0{,}27$ m $\times$ 0,92 m = 0,248 qm, so ergiebt sich

die erforderliche Geschwindigkeit: $v_6 = \frac{0{,}189}{0{,}248} = 0{,}76$ m,

die erreichbare Geschwindigkeit: $v_6 = \sqrt{\frac{2{,}3745}{5{,}5 \cdot 0{,}066 + 3}} = 0{,}84$ m.

Der probeweise gewählte Querschnitt würde somit beizubehalten sein, oder es sind, wenn derselbe in der Ausführung Schwierigkeit verursacht, zwei Zuluftkanäle anzuordnen. Sollen dieselben neben einander liegen und ein jeder die gleiche Länge und die gleichen einmaligen Widerstände besitzen, wie der ursprünglich angenommene Kanal, so bleibt die Gleichung für die erreichbare Geschwindigkeit nur unter Einsetzung des einem kleineren Querschnitte zukommenden Werthes von $\frac{\varrho_6 w_6}{f_6}$ dieselbe, die Luftmenge dagegen verringert sich für einen Kanal auf die Hälfte, somit ist die erforderliche Geschwindigkeit:

$$v_6 = \frac{0{,}189}{2 f_6} = \frac{0{,}0945}{f_6}.$$

Wählt man probeweise $f_6 = 0{,}27$ m $\times$ 0,53 m = 0,143 qm, so ist

die erforderliche Geschwindigkeit: $v_6 = \frac{0{,}0945}{0{,}143} = 0{,}66$ m,

die erreichbare Geschwindigkeit: $v_6 = \sqrt{\frac{2{,}3745}{5{,}5 \cdot 0{,}081 + 3}} = 0{,}83$ m.

Wählt man probeweise $f_6 = 0{,}27$ m $\times$ 0,46 m = 0,124 qm, so ist

die erforderliche Geschwindigkeit: $v_6 = \frac{0{,}0945}{0{,}124} = 0{,}76$ m,

die erreichbare Geschwindigkeit: $v_6 = \sqrt{\frac{2{,}3745}{5{,}5 \cdot 0{,}085 + 3}} = 0{,}83$ m.

Zwei Kanäle mit kleinerem Querschnitte als 0,27 m $\times$ 0,46 m zu wählen, ist nicht angängig, wohl aber einen Kanal von 0,27 $\times$ 0,46 m Querschnitt und einen Kanal mit kleinerem Querschnitte. Durch einen Kanal 0,27 m $\times$ 0,46 m werden nach Massgabe der berechneten erreichbaren Geschwindigkeit $0{,}124 \cdot 0{,}83 = 0{,}103$ cbm/Sek. gefördert. Für den zweiten Kanal bleiben somit $0{,}189 - 0{,}103 = 0{,}086$ cbm/Sek. übrig. Für $f_6 = 0{,}27$ m $\times$ 0,40 m = 0,108 qm ergiebt sich als nahezu übereinstimmend:

die erforderliche Geschwindigkeit: $v_6 = \frac{0{,}086}{0{,}108} = 0{,}80$ m,

die erreichbare Geschwindigkeit: $v_6 = \sqrt{\frac{2{,}3745}{5{,}5 \cdot 0{,}089 + 3}} = 0{,}83$.

o) Berechnung der noch unbekannten Querschnitte der Zuluftkanäle für die übrigen Räume des Erdgeschosses. Genau wie bei der Abluftanlage für die Räume des Erdgeschosses ist im vorliegenden Falle wegen der grösseren Horizontalausdehnung der Anlage noch der Zuluftkanal des günstigst gelegenen Raumes einer genauen Berechnung zu unterziehen, die Geschwindigkeit in den übrigen Kanälen aber ohne Schwierigkeit zu schätzen. Für den günstigst gelegenen Raum *V* bleibt wiederum die wirksame Druckhöhe dieselbe, d. h. 0,269 m, die Theilstrecken 7 und 8 kommen in Wegfall, und es ergiebt sich alsdann

Digitized by Google

· die erreichbare Geschwindigkeit: $v_{26} = \sqrt{\frac{2{,}745}{\frac{5{,}5\,\varrho_{26}\,u_{26}}{f_{26}} + 3}}$.

Für $f_{26} = 0{,}27 \times 0{,}79$ m wird

die erforderliche Geschwindigkeit: $v_{26} = 0{,}89$ m,
die erreichbare Geschwindigkeit: $v_{26} = 0{,}90$ m.

Sollen auch in diesem Falle statt des einen Kanals mit sehr grossem Querschnitte zwei Kanäle mit kleinerem Querschnitte gewählt werden, so würden dieselben einen solchen von 0,27 m × 0,40 m erhalten müssen.

Unschwer ist nun aus Fig. 12 zu ersehen, dass ohne Wiederholung dieser Rechnung die Querschnitte der übrigen Zuluftkanäle des Erdgeschosses bestimmt werden können, d. h. die erreichbare Geschwindigkeit der Zuluft im Kanale 6 ist auch dem Zuluftkanale des Raumes *III* zu Grunde zu legen, während die erreichbare Geschwindigkeit im Zuluftkanale des Raumes *V* auch zur Bestimmung des Querschnitts des Zuluftkanals für Raum *VII* beizubehalten ist.

p) Berechnung der Querschnitte der Zuluftkanäle für Raum *II* und die übrigen Räume des I. Stocks. *α*) Erforderliche Geschwindigkeit im Zuluftkanale des Raumes *II*.

$$v_{15} = \frac{0{,}189}{f_6}.$$

β) Erreichbare Geschwindigkeit im Zuluftkanale des Raumes *II*. Die Gleichung bleibt dieselbe wie für Raum *I*, nur sind die entsprechenden Höhen und Längen der Theilstrecke 6, also die bereits gegebenen Werthe von h_6 und R_6 einzuführen. Danach erhält man:

$$v_{15} = \sqrt{\frac{8{,}8168}{\frac{10\,\varrho_{15}\,u_{15}}{f_{15}} + 3}}.$$

γ) Bestimmung des Querschnitts f_{15}. Wählt man probeweise 0,27 m × 0,46 m = 0,124 qm, so ist

die erforderliche Geschwindigkeit: $v_{15} = \frac{0{,}189}{0{,}124} = 1{,}52$,

die erreichbare Geschwindigkeit: $v_{15} = \sqrt{\frac{8{,}8168}{10 \cdot 0{,}085 + 3}} = 1{,}51$ m.

Genau in gleicher Weise berechnet sich der Querschnitt des günstigst gelegenen Raumes im I. Stocke (Raum *VI*) und ergiebt sich derselbe ebenfalls zu 0,27 m × 0,46 m, so dass also sämmtliche Zuluftkanäle des I. Stocks, da die Luftmengen die gleichen sind, gleich grosse Querschnitte zu erhalten haben.

q) Vergleich der Ergebnisse für Anschlag und Ausführung.

Erdgeschoss.		Querschnitte nach Tabelle 7	Querschnitte berechnet
Abluft,	Theilstrecke 4:	0,27 m × 0,46 m,	0,27 m × 0,40 m,
„	„ 24:	0,27 m × 0,46 m,	0,27 m × 0,33 m,
Zuluft,	„ 6:	0,27 m × 0,92 m,	0,27 m × 0,92 m,
„	„ 26:	0,27 m × 0,92 m,	0,27 m × 0,79 m,
I. Stock.			
Abluft,	Theilstrecke 13:	0,27 m × 0,66 m,	0,27 m × 0,66 m,
„	„ 27:	0,27 m × 0,66 m,	0,27 m × 0,53 m,
Zuluft,	„ 15:	0,27 m × 0,53 m,	0,27 m × 0,46 m,
„	„ 29:	0,27 m × 0,53 m,	0,27 m × 0,46 m.

Digitized by Google

2. Abluft- und Zuluftanlage erfahren gemeinsame Berechnung.

Wie bereits ausgeführt (s. S. 80) ist die gemeinsame Berechnung der Abluft- und Zuluftanlage im Allgemeinen nicht zu empfehlen, da man über die Lage der neutralen Zone keine Rechenschaft besitzt und Störungen des Lüftungseffekts eintreten können. Angängig ist die Berechnung nur, wenn auf die Einhaltung des geforderten Luftwechsels nicht unbedingt gesehen zu werden braucht und wenn der Einfluss der Undichtheiten, besonders derjenigen der Fensterfugen, unberücksichtigt bleiben darf.

Beispiel 2. Aufgabe. Die Aufgabe ist dieselbe wie unter 1.

Lösung der Aufgabe. Alles bleibt wie im vorigen Beispiele, nur die Gleichungen der Abluft- und Zuluftanlage eines jeden Raumes für die erreichbare Geschwindigkeit sind zu addiren und alsdann die Auflösung herbeizuführen. Für Raum *I* ergiebt sich somit nach dem vorigen Beispiele unter k, ϑ und n, ϑ:

$$0{,}770 + 0{,}269 = \frac{1}{2g}\left\{6{,}952 + \frac{v_4^2}{1+\alpha 20}\left(\frac{\varrho_4 \cdot 9{,}5 \cdot u_4}{f_4} + 1{,}5\right)\right\} + \frac{1}{2g}\left\{3{,}065 + \right.$$
$$\left. + \frac{v_6^2}{1+\alpha 20}\left(\frac{\varrho_6 \cdot 5{,}5 \cdot u_6}{f_6} + 3\right)\right\},$$

oder zusammengezogen:

$$1{,}039 = \frac{1}{2g}\left\{10{,}017 + \frac{1}{1+\alpha 20}\left[v_4^2\left(\frac{\varrho_4 9{,}5\, u_4}{f_4} + 1{,}5\right) + v_6^2\left(\frac{\varrho_6 5{,}5\, u_6}{f_6} + 3\right)\right]\right\}.$$

Für v_4 und v_6 muss nun ein bestimmtes Verhältniss angenommen werden. Da durch beide Kanäle dieselbe Luftmenge in kg zu fördern ist, so muss allgemein:

$$\frac{1{,}293\, L_4}{1+\alpha t_4} = \frac{1{,}293\, L_6}{1+\alpha t_6}$$

sein, und da ferner $L_4 = 3600 v_4 f_4$ und $L_6 = 3600 v_6 f_6$ ist, so ergiebt sich:

$$\frac{v_4}{v_6} = \frac{f_6(1+\alpha t_4)}{f_4(1+\alpha t_6)}.$$

Man kann nun z. B. $v_4 = v_6$, oder $f_4 = f_6$ setzen. Im vorliegenden Beispiele ist $t_4 = t_6$ und wählt man $v_4 = v_6$, so muss auch $f_4 = f_6$ gemacht werden.

Es geht somit die obige Gleichung über in die andere:

$$1{,}039 = \frac{1}{2g}\left\{10{,}017 + \frac{1}{1+\alpha 20}\left[v_4^2\left(\frac{\varrho_4 15\, u_4}{f_4} + 4{,}5\right)\right]\right\}.$$

Hieraus ergiebt sich:

$$v_4 = \sqrt{\frac{11{,}125}{\frac{15\,\varrho_4 u_4}{f_4} + 4{,}5}}.$$

Die erforderliche Geschwindigkeit v_4 bleibt wie im vorigen Beispiele (k, α):

$$v_4 = \frac{0{,}189}{f_4}.$$

Wählt man probeweise $f_4 = 0{,}27\text{ m} \times 0{,}40\text{ m} = 0{,}108$ qm, so ist

die erforderliche Geschwindigkeit: $v_4 = 1{,}75$ m,
die erreichbare Geschwindigkeit: $v_4 = 1{,}38$ m.

Digitized by Google

Es muss also der Querschnitt grösser und zwar als nächster $f_4 = 0{,}27\text{ m} \times 0{,}53\text{ m} = 0{,}143$ qm gewählt werden, da sich für diesen

die erforderliche Geschwindigkeit: $v_4 = 1{,}82$ m,
die erreichbare Geschwindigkeit: $v_4 = 1{,}39$ m

ergiebt.

Für Raum *II* berechnet sich naturgemäss derselbe Querschnitt, da für denselben bei gemeinsamer Berechnung der Abluft- und Zuluftanlage alle Grössen dieselben sind.

Für Raum *V* und *VI* ergiebt sich bei genau gleicher Berechnungsweise die erreichbare Geschwindigkeit im Abluft- und Zuluftkanale:

$$v_{24} = \sqrt{\frac{16{,}883}{\frac{17{,}5\,\varrho_{24}\,u_{24}}{f_{24}} + 4{,}5}}.$$

Wählt man probeweise $f_{24} = 0{,}27\text{ m} \times 0{,}40\text{ m} = 0{,}108$ qm, so ist

die erforderliche Geschwindigkeit: $v_{24} = 1{,}75$ m,
die erreichbare Geschwindigkeit: $v_{24} = 1{,}67$ m,

es muss somit der nächste Querschnitt $f_{24} = 0{,}27\text{ m} \times 0{,}53\text{ m} = 0{,}143$ qm gewählt werden, es erhalten also bei gemeinsamer Berechnung der Abluft und Zuluftanlage sämmtliche Einzelkanäle den gleichen Querschnitt.

Der Unterschied zwischen getrennter Berechnung, bei der die neutrale Zone in der Mitte der Räume liegt, und der ungetrennten Berechnung, bei der sich die Lage der neutralen Zone der Kenntniss entzieht, geht aus folgender Zusammenstellung der Ergebnisse hervor.

Erdgeschoss.		Getrennte Berechnung	Gemeinsame Berechnung
Abluft, Theilstrecke	4:	0,27 m × 0,40 m,	0,27 m × 0,53 m,
„ „	24:	0,27 m × 0,33 m,	0,27 m × 0,53 m,
Zuluft, „	6:	0,27 m × 0,92 m,	0,27 m × 0,53 m,
„ „	26:	0,27 m × 0,79 m,	0,27 m × 0,53 m,
I. Stock.			
Abluft, Theilstrecke	13:	0,27 m × 0,66 m,	0,27 m × 0,53 m,
„ „	27:	0,27 m × 0,53 m,	0,27 m × 0,53 m,
Zuluft, „	15:	0,27 m × 0,46 m,	0,27 m × 0,53 m,
„ „	29:	0,27 m × 0,46 m,	0,27 m × 0,53 m.

Man ersieht aus dieser Zusammenstellung, welchen bedeutenden Unterschied in den Kanalquerschnitten die verschiedene Berechnungsweise ergiebt, ferner, dass bei gemeinsamer Berechnung der Abluft- und Zuluftanlage im Erdgeschosse an den Fenstern infolge der Undichtheiten der Fugen Zugerscheinungen eintreten werden, da die wirksame Druckhöhe der Abluftanlage ihre Thätigkeit noch auf die Zuluftanlage erstrecken muss. Wie weit dies in Wirklichkeit eintreten wird, hängt von der Grösse der Undichtheiten ab und entzieht sich der Beurtheilung, unter Umständen kann das Warmhalten der Räume in Frage gestellt werden.

Digitized by Google

B) Saugelüftung.

1. Lüftung mittels Temperaturdifferenz unter besonderer Erwärmung der Abluft.

Abluft und Zuluftanlage erfahren getrennte Berechnung. Die Grenzebene der beiden Anlagen bildet die neutrale Zone (s. S. 80).

Beispiel 3. Aufgabe. Die Aufgabe ist dieselbe wie unter A, 1 (Beispiel 1), nur soll die Abluft im Keller gesammelt und durch einen Schacht von 1,05 m × 1,05 m × 1,103 qm über Dach geführt werden, in dem am Fusse desselben in einer kleinen Heizkammer ein Dampfheizkörper Aufstellung findet. Der Luftwechsel soll bis zu einer höchsten Aussentemperatur von 0° voll erreicht werden. In dem Abluftkanalzuge des ungünstigst gelegenen Raumes soll durchweg eine Geschwindigkeit von 2 m bis 2,5 m herrschen, nur im Abluftschachte muss die Geschwindigkeit der Luft und gleichzeitig die Temperatur, auf welche dieselbe zu erwärmen ist, berechnet werden.

Lösung der Aufgabe. Da alle Bedingungen für die Zuluftanlage dieselben wie in Beispiel 1 sind, so bleibt deren Berechnung ungeändert und hat daher bereits Behandlung gefunden (s. Beispiel 1). Für die Abluftanlage soll nun die tabellarische

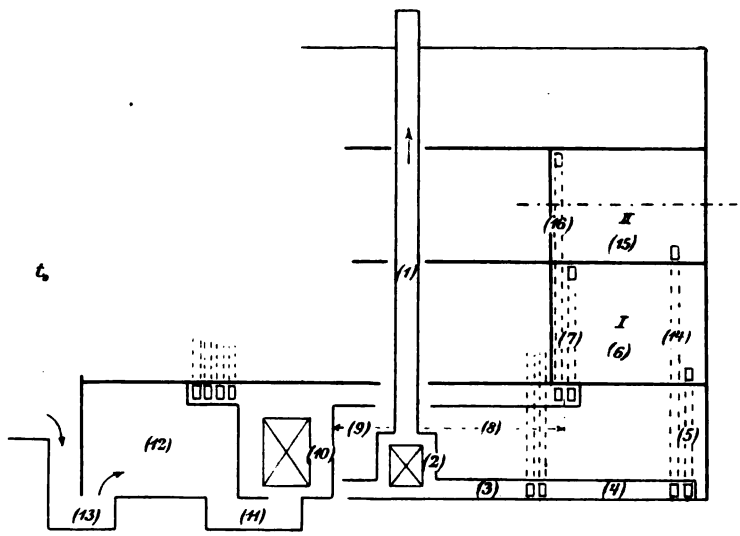


Fig. 14.

Zusammenstellung benutzt werden. Für die Gewinnung der Grössen in derselben ist auf die eingehende Behandlung in Beispiel 1 und auf die Bemerkungen nach der Tabelle (s. S. 97) zu verweisen. Die Disposition der Anlage geht aus Fig. 14 hervor; für die Abluftanlage ergiebt sich gegen Beispiel 1 für jeden Kanalzug eine Theilstrecke mehr. Der ungünstigst gelegene Raum ist Raum *II*; mit diesem ist die Rechnung zu beginnen und die Temperatur, sowie die Geschwindigkeit der Luft im Abluftschachte zu berechnen. Sind diese bekannt, so unterscheidet sich die weitere Rechnung in nichts von der unter der im Beispiele 1 angegebenen, so dass in diesem Beispiele nur Raum *II* Behandlung zu finden und infolgedessen auch die Tabelle nur auf diesen sich zu erstrecken braucht.

Digitized by Google

No. der Theilstrecke	Luftmenge L	Temperatur t	Geschwindigkeit v	Kanalquerschnitt Fläche f	Kanalquerschnitt Abmessung	Kanal Länge l	Kanal Höhe h	Widerstände Z Reibung R	Widerstände Z Einmalige $\Sigma\zeta$	$\frac{v^2}{2g(1+\alpha t)} Z$ bezw. $\frac{v^2}{2g(1+\alpha t)}(1+Z)$
1	$\frac{5440}{1+\alpha 20}(1+\alpha t_1)$	t_1?	$\{1{,}276 \times (1+\alpha t_1)$	1,103	$1{,}05 \times 1{,}05$	14	15,2	0,336	0	$\frac{2{,}175\,(1+\alpha t_1)}{2g}$
2	$\left\{\frac{5440}{1+\alpha 20} \times \left(1+\alpha\frac{t_1+20}{2}\right)\right.$	$\frac{t_1+20}{2}$	0,35	4	2×2	2,4	—	0,0619	$\left\{\left(\frac{f_1}{f_2}-1\right)^2 = 0{,}62\right.$	$\left\{\frac{0{,}0835 \times \left(1+\alpha\frac{t_1+20}{2}\right)}{2g}\right.$
3	2720	20	2,05	0,368	$0{,}40 \times 0{,}92$	7	0	0,343	1,5	$\frac{7{,}218}{2g}$
4	1360	20	2,05	0,184	$0{,}40 \times 0{,}46$	8	0	0,520	1,0	$\frac{5{,}960}{2g}$
14	680	20	2,12	0,89	$0{,}27 \times 0{,}33$	9	8	0,900	2,0	$\frac{12{,}109}{2g}$
15 (bis zur neutralen Zone)	680	21	0	—	—	—	1,6	—	—	0

Die Gleichung für den Kanalzug der Abluftanlage des Raumes *II* lautet (vgl. Fall 3, S. 91):

$$\left(\frac{h_1}{1+\alpha t_0}-\frac{h_1}{1+\alpha t_1}\right)-\left(\frac{h_{14}}{1+\alpha t_0}-\frac{h_{14}}{1+\alpha t_{14}}\right)-\left(\frac{h_{15}}{1+\alpha t_0}-\frac{h_{15}}{1+\alpha t_{15}}\right)=$$
$$=\frac{v_1^2}{2g(1+\alpha t_1)}(1+Z_1)+\frac{v_2^2}{2g(1+\alpha t_2)}Z_2+\frac{v_{15}^2}{2g(1+\alpha t_{15})}Z_{15}.$$

Bei der Aufstellung der linken Seite der Gleichung ist die durch h_2 gebildete wirksame Druckhöhe unberücksichtigt geblieben, dafür aber h_1 um die halbe Höhe der Heizkammer grösser angenommen worden. Es ist dies statthaft und zur Vereinfachung der Rechnung erforderlich. Die Berechnung der linken Seite der Gleichung ist ohne Weiteres klar und sind die Werthe aus der Tabelle zu entnehmen; für t_0 ist die vorgeschriebene höchste äussere Temperatur, d. h. 0^0, zu setzen. Der Werth von v_1 der rechten Seite der Gleichung ergiebt sich, da $v_1 = \frac{L_1}{3600\,f_1}$ ist, zu:

$$v_1 = \frac{5440\,(1+\alpha t_1)}{(1+\alpha 20)\,3600\,f_1}.$$

Der Werth von v_2 ist bestimmt unter Berücksichtigung des Querschnitts der Heizkammer abzüglich des für den aufzustellenden Heizkörper geschätzten. Zur Bestimmung der Reibung ist der Umfang der Heizkammer vermehrt um denjenigen der Heizkörper, gemessen in der Horizontalebene, in Rechnung gezogen worden.

Nach Einsetzung der in der Zusammenstellung enthaltenen Grössen geht die Gleichung über in die andere:

Digitized by Google

$$15{,}2 - \frac{15{,}2}{1+\alpha t_1} - 0{,}544 - 0{,}1136 = \frac{1}{2g}\left\{2{,}175\,(1+\alpha t_1) + 0{,}0835\left(1+\alpha\frac{t_1+20}{2}\right) + \right.$$
$$\left. + 7{,}218 + 5{,}960 + 12{,}109\right\}.$$

Hieraus erhält man die quadratische Gleichung:

$$(1+\alpha t_1)^2 - 117{,}28\,(1+\alpha t_1) + 134{,}52 = 0,$$

woraus sich ergiebt:

$$1+\alpha t_1 = 1{,}158 \quad \text{und} \quad t_1 = 43{,}11^0.$$

Dieser Werth von t_1 ist nach Früherem (S. 42) etwas hoch. Aus ökonomischen Gründen ist es daher rathsam, den Abluftschacht grösser im Querschnitte anzunehmen.

Wählt man für $f_1 = 1{,}18\text{ m} \times 1{,}18\text{ m} = 1{,}392$ qm, so erhält man:

$$1+\alpha t_1 = 1{,}155 \quad \text{und} \quad t_1 = 31{,}5^0.$$

Es ist zu empfehlen, die letzte Temperatur beizubehalten und dieser und der Luftmenge entsprechend, die Grösse des Heizkörpers zu bestimmen.

Da nun sämmtliche Temperaturen bekannt sind, so hat man für die übrigen Räume die Querschnitte der Einzelkanäle genau wie im Beispiele 1 zu bestimmen; von der weiteren Durchführung der Rechnung kann somit Abstand genommen werden.

2. Lüftung mittels eines Exhaustors.

Abluft und Zuluftanlage erfahren getrennte Berechnung. Die Grenzebene der beiden Anlagen bildet die neutrale Zone.

Beispiel 4. Aufgabe. Die Aufgabe ist genau dieselbe wie im vorigen Beispiele, nur soll am Fusse des Abluftschachts statt eines Heizkörpers ein Ventilator Aufstellung finden.

Lösung der Aufgabe. Die Anordnung der Anlage geht aus Fig. 15 hervor.

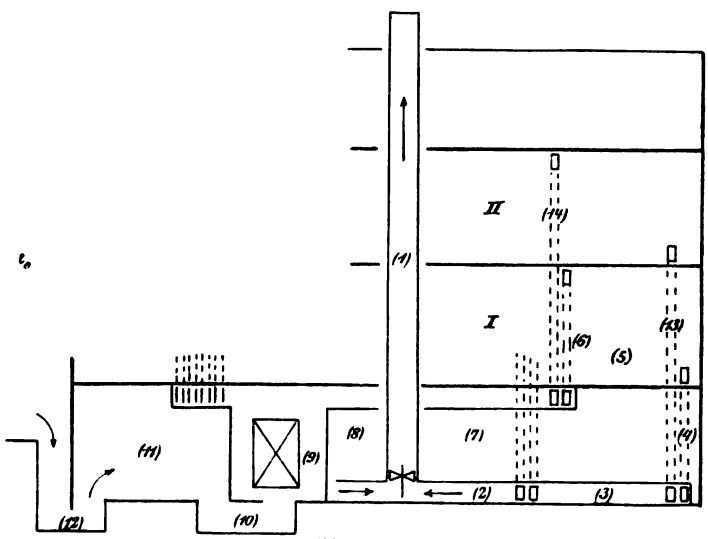


Fig. 15.

Der ungünstigst gelegene Raum ist wieder Raum *II*, die Berechnung des Ventilators hat sich daher nach diesem zu richten. In der tabellarischen Zusammenstellung auf

Digitized by Google

S. 111, ändern sich nur die Nummern der Theilstrecken, Theilstrecke 1 und 2 werden jetzt eine Theilstrecke. Die Zusammenstellung erhält folgende Form:

No. der Theilstr.	Luftmenge L	Temperatur t	Geschwindigkeit v	Kanalquerschnitt Fläche f	Kanalquerschnitt Abmessung m	Kanal Länge	Kanal Höhe	Widerstände Reibung R	Widerstände Einmalige $\Sigma\zeta$	$\frac{v^2}{2g(1+\alpha t)}Z$ bezw. $\frac{v^2}{2g(1+\alpha t)}(1+Z)$
1	5440	20	1,4	1,103	1,05×1,05	16,8	16,8	0,437	0	$\frac{0,800}{2g}$
2	2720	20	2,05	0,368	0,40×0,92	7	0	0,343	1,5	$\frac{7,218}{2g}$
3	1360	20	2,05	1,184	0,40×0,46	8	0	0,520	1,0	$\frac{5,960}{2g}$
13	680	20	2,12	0,89	0,27×0,33	9	8	0,900	2,0	$\frac{12,109}{2g}$
14	680	21	0	—	—	—	1,6	—	—	0

Die Gleichung für den Kanalzug der Abluftanlage des Raumes *II* lautet (s. Fall 6, S. 93):

$$\left(\frac{h_1}{1+\alpha t_0}-\frac{h_1}{1+\alpha t_1}\right)-\left(\frac{h_{12}}{1+\alpha t_0}-\frac{h_{12}}{1+\alpha t_{12}}\right)-\left(\frac{h_{14}}{1+\alpha t_0}-\frac{h_{14}}{1+\alpha t_{14}}\right)+M=$$
$$=\frac{v_1^2}{2g(1+\alpha t_1)}(1+Z_1)+\frac{v_2^2}{2g(1+\alpha t_2)}Z_2+\cdots\frac{v_{15}^2}{2g(1+\alpha t_{15})}Z_{15}.$$

M ist die Druckhöhe bei 0°, die der Ventilator zu liefern hat. Alle Werthe bis auf M sind in der Gleichung bekannt, und nach Einsetzung derselben ergiebt sich:

$$M=1,412.$$

Es möge ein Schiele'scher Schraubenventilator Anwendung finden. Derselbe hat 5440 cbm von 20° oder 5070 cbm von 0° zu fördern. Es muss nun der Ausdruck 29 oder 30 (S. 55) Erfüllung finden, d. h. es muss sein gemäss Ausdrucks 30:

$$5070 \gtreqless \frac{0,772\,n L_0}{1,412}, \text{ d. h.}$$
$$9272 \gtreqless n L_0.$$

Man ersieht, dass man einen Ventilator von 0,30 m, 0,40 m oder 0,50 m Flügeldurchmesser nehmen kann, nur die Umfangsgeschwindigkeit muss man entsprechend wählen. Bei vorgeschriebener Umfangsgeschwindigkeit hat man mit der Berechnung wie im Beispiele auf S. 56 oder in dem folgenden Beispiele zu verfahren.

Die Betriebskraft des Ventilators stellt sich gemäss Gl. 31:

$$N=\frac{0,0000048\cdot 5440\cdot 1,412}{(1+\alpha 20)\eta}.$$

Kann $\eta=0,40$ gesetzt werden, was vom Verfertiger des Ventilators anzugeben is so stellt sich:

$$N=0,086\sim 0,1\,PS.$$

Diese geringe Betriebskraft hat also die gleiche Wirkung für den Effekt der An-

Digitized by Google

lage, wie die im vorigen Beispiele berechnete Erwärmung der Abluft auf 31,5°. Steht elektrische Kraft zur Verfügung, so wird man der Bequemlichkeit halber einem Ventilator in der Regel den Vorzug geben — die Betriebskosten werden ausserdem für die Wahl entscheidend sein müssen.

C) Drucklüftung.

I. Abluft- und Zuluftanlage erfahren getrennte Berechnung. In der Grenzebene der beiden Anlagen soll ein Ueberdruck von 2 m Luftsäule von 0° herrschen.

Beispiel 5. Aufgabe. Die Aufgabe ist insofern die gleiche wie im Beispiele 1 (S. 93), als dieselben Räume in Frage kommen und für dieselben die gleichen Luftmengen geliefert werden sollen. Die Geschwindigkeit im Entnahmekanale der frischen Luft und in der Heizkammer soll wie in Beispiel 1 beibehalten, die Geschwindigkeit der Luft in den übrigen Kanälen der Zuluftanlage bis mindestens 2 m gesteigert werden. Die Kanäle der Abluftanlage münden einzeln frei über Dach. Die Grenzebene der Abluft- und Zuluftanlage, in der ein Ueberdruck von 2 m Luftsäule, ausgedrückt in Luft von 0°, herrschen soll, ist in der Mitte der unteren Abluftöffnung der Räume anzunehmen. In der Staubkammer ist ein Filter, bestehend aus gerauhetem Barchent von 27 qm Fläche, aufzustellen. Der Lüftungseffekt muss in voller Stärke bis zu einer Aussentemperatur von + 20° erreicht werden.

Lösung der Aufgabe. Die Disposition der Anlage geht aus Fig. 16 her-

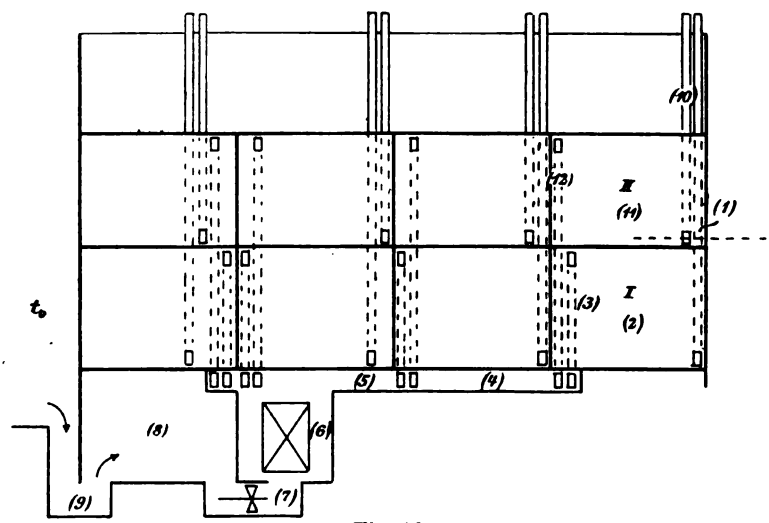


Fig. 16.

vor. Da zur Grössenbestimmung des Ventilators nur der Kanalzug des ungünstigst gelegenen Raumes der Zuluftanlage in Frage kommt und nach erfolgter Bestimmung die Berechnung der übrigen Anlage wie im Beispiele 1 anzustellen ist, so soll hier nur der Kanalzug des Raumes *II*, als des ungünstigsten Raumes, Behandlung finden und dementsprechend auch nur für diesen die tabellarische Zusammenstellung gegeben werden. Die Zuluftanlage des Raumes *II* umfasst die Theilstrecken 11, 12, 4, 5, 6, 7, 8 und 9, die Abluftanlage die Theilstrecke 10. Für die Bewegung der Luft in der Theilstrecke 10 stehen, da die Aussen- und Innenluft gleich warm sind, nur die 2 m Ueberdruckhöhe von 0°, die der Ventilator in der Grenzebene der

Digitized by Google

beiden Anlagen hervorrufen soll, zur Verfügung. Zunächst sind nun die Kanalquerschnitte nach Mauermafs derartig anzunehmen, dass die Geschwindigkeit der Luft der Aufgabe entspricht. Die Widerstandshöhen sind alsdann zu berechnen und in die Tabelle einzutragen, woraus sich dann die folgende Aufstellung ergiebt.

No. der Theilstrecke	Luftmenge L	Temperatur t	Geschwindigkeit v	Kanalquerschnitt Fläche f	Kanalquerschnitt Abmessung	Kanal Länge	Kanal Höhe	Widerstände Z Reibung R	Widerstände Z Einmalige $\Sigma\zeta$	$\frac{v^2}{2g(1+\alpha t)} Z$ bezw. $\frac{v^2}{2g(1+\alpha t)}(1+Z)$
10	680	20	?	?	?	10,5	10	$\frac{\varrho_{10}\, 10{,}5\, u_{10}}{f_{10}}$	1,5	$\frac{v_{10}^2}{2g(1+\alpha 20)}(1+ + R_{10}+1{,}5)$
11	680	21	0	—	—	—	3,2	—	—	—
12	680	20	2,12	0,089	0,27 × 0,33	10	9	1,000	2	$\frac{12{,}291}{2g}$
4	1360	20	2,12	0,178	0,27 × 0,66	8	0	0,584	1	$\frac{6{,}636}{2g}$
5	2720	20	2,18	0,347	0,33 × 1,05	6	0	0,330	0	$\frac{1{,}462}{2g}$
6	5440	20	0,275	5,5	—	2,6	2,2	0,045	4,510	$\frac{0{,}321}{2g}$
7	5440	20	2,07	0,732	0,40 × 1,83	4	0	0,164	2	$\frac{8{,}643}{2g}$
8	5440	20	—	—	—	—	0	—	—	0
9	5440	20	1,36	1,392	1,18 × 1,18	5	0	0,115	2,75	$\frac{4{,}939}{2g}$

Die Gleichung für den Kanalzug der Zuluftanlage des Raumes *II* lautet gemäss Gl. 78:

$$-\frac{h_{11}+h_{12}+h_6}{1+\alpha t_0}+\frac{h_{11}}{1+\alpha t_{11}}-\frac{h_{12}}{1+\alpha t_{12}}-\frac{h_6}{1+\alpha t_6}-\frac{H}{1+\alpha t_{11}}+M-\frac{H_f}{1+\alpha t_8}=$$
$$=\frac{v_{12}^2}{2g(1+\alpha t_{12})}(1+Z_{12})+\frac{v_4^2}{2g(1+\alpha t_4)}Z_4+\frac{v_5^2}{2g(1+\alpha t_5)}Z_5+\frac{v_6^2}{2g(1+\alpha t_6)}+$$
$$+\frac{v_7^2}{2g(1+\alpha t_7)}Z_7+0+\frac{v_9^2}{2g(1+\alpha t_9)}(1+Z_9).$$

Zunächst ist die Widerstandshöhe des Filters bei 0° $\frac{H_f}{1+\alpha t_8}$ zu bestimmen. Es soll als Filtertuch gerauheter Barchent Verwendung finden. Durch das Filter fliessen stündlich 5440 cbm Luft von 20°, daher erhält man nach Gl. 18, da in diesem Falle $L=5440$, $F=27$, $t_0=t_8=20$, $t=20$ ist, sofern man den Koefficienten $m=0{,}024$ setzt:

Digitized by Google

$$\frac{H_f}{1+\alpha 20} = \frac{0{,}024 \cdot 5440}{27\,(1+\alpha 20)}, \quad \text{daher}$$

$$H_f = 4{,}84 \text{ m}.$$

Setzt man nun die sämmtlich bis auf M bekannten Werthe (für $\frac{H}{1+\alpha t_{11}}$ ist die vorgeschriebene Ueberdruckhöhe in der Grenzebene der beiden Anlagen $= 2$ m zu setzen) in die Gleichung ein, so ergiebt sich:

$$M = 8{,}98 \text{ m}.$$

Man sieht also, dass in diesem Falle das für das Beispiel absichtlich klein gewählte Filter einen noch etwas grösseren Theil der wirksamen Druckhöhe aufbraucht, als die gesammte Kanalanlage — hieraus geht hervor, dass es aus ökonomischen Gründen für den Betrieb wichtig ist, die Filterfläche möglichst gross zu wählen.

Es soll ein Schiele'scher Schraubenventilator Anwendung finden, jedoch soll derselbe keine grössere Umdrehungsgeschwindigkeit als etwa 1500—1600 m in der Minute erhalten. Es möge probeweise ein Ventilator von 0,8 m Durchmesser gewählt werden. Bei einer Umfangsgeschwindigkeit von 1156 m in der Minute fördert derselbe 9600 cbm bei freiem Ausblasen und bei einem Drucke von 2 mm Wassersäule. Bei der verlangten Geschwindigkeit fördert derselbe etwa annähernd 12000 cbm (genaue Angaben sind vom Verfertiger zu machen). Es muss nun, falls die Grösse des Ventilators richtig gewählt worden ist, nach dem Ausdrucke 29 sein:

$$\frac{5440}{1+\alpha 20} \leqq \frac{(0{,}01 \cdot 12000)^2}{254 \cdot \left(\frac{0{,}8^2\pi}{4}\right)^2 8{,}98}.$$

Es ergiebt aber der Ausdruck:

$$5070 > 8032.$$

Es muss somit ein grösserer Ventilator gewählt oder die Umfangsgeschwindigkeit gesteigert werden.

Wählt man einen Ventilator von 1 m Flügeldurchmesser, so leistet dieser bei der verlangten Umfangsgeschwindigkeit annähernd bei freiem Ausblasen etwa 20000 cbm.

Es muss also sein, da $\frac{d^2\pi}{4} = 0{,}785$ ist:

$$5070 \leqq \frac{(0{,}01 \cdot 20000)^3}{254 \cdot 0{,}785^2 \cdot 8{,}98}.$$

Dies ist der Fall, denn die rechte Seite des Ausdrucks giebt: 5690.

Die Betriebskraft des Ventilators stellt sich nach Gl. 31 zu:

$$N = \frac{0{,}0000048 \cdot 5440 \cdot 8{,}98}{(1+\alpha 20)\,0{,}4} = 0{,}55\,PS,$$

wenn $\eta = 0{,}4$ angenommen werden kann, was vom Verfertiger des Ventilators anzugeben ist.

Für die Abluftanlage stehen die 2 m Ueberdruckhöhe zur Verfügung, die in Mitte der unteren Abluftöffnung herrschen soll. Die Gleichung lautet, da die Abluftkanäle unmittelbar über Dach führen:

$$\frac{h_1}{1+\alpha t_0} - \frac{h_1}{1+\alpha t_1} + \frac{H}{1+\alpha t_{11}} = \frac{v_1^2}{2g\,(1+\alpha t_1)}(1+Z_1).$$

Entnimmt man aus der Zusammenstellung die bekannten Werthe und setzt für $\frac{H}{1+\alpha t_{11}}$ die vorgeschriebene Ueberdruckhöhe von 2 m, so erhält man die Gleichung für die erreichbare Geschwindigkeit:

Digitized by Google

$$v_1 = \sqrt{\frac{42{,}1}{1 + \frac{10\,\varrho_1 u_1}{f_1} + 1{,}5}}.$$

Die erforderliche Geschwindigkeit in der Theilstrecke 1 dagegen ist:

$$v_1 = \frac{680}{3600\,f_1} = \frac{0{,}189}{f_1}.$$

Setzt man probeweise $f_1 = 0{,}20\text{ m} \times 0{,}27\text{ m} = 0{,}054\text{ qm}$, so ist nach Tabelle 9 $\frac{\varrho_1 u_1}{f_1} = 0{,}139$, somit $R_1 = 0{,}139 \cdot 10 = 1{,}39$ und es ergiebt sich

die erreichbare Geschwindigkeit: $v_1 = 3{,}28$ m,
die erforderliche Geschwindigkeit: $v_1 = 3{,}5$ m.

Der Kanal muss somit etwas grösser gemacht werden. Das nächste Mauermafs ist $f = 0{,}20\text{ m} \times 0{,}33\text{ m} = 0{,}066$ qm, es ergiebt sich dann

die erreichbare Geschwindigkeit: $v_1 = 3{,}36$ m,
die erforderliche Geschwindigkeit: $v_1 = 2{,}86$ m.

2. Abluft- und Zuluftanlage erfahren gemeinsame Berechnung.

Beispiel 6. Aufgabe. Es ist alles genau wie im vorigen Beispiele, nur ist ein bestimmter Ueberdruck in den Räumen nicht vorgeschrieben.

Lösung der Aufgabe. Es sind alle Kanalquerschnitte anzunehmen. Wählt man noch den Querschnitt des Abluftkanals für Raum *II* zu $0{,}27\text{ m} \times 0{,}33\text{ m} = 0{,}89$ qm, so ergiebt sich eine Geschwindigkeit in demselben von 2,12 m, und wenn $\Sigma\zeta$ wieder 1,5 ist, eine Widerstandshöhe von $\frac{v_1^2}{2g(1+\alpha t_1)}(1 + Z_1) = \frac{10{,}49}{2g}$.

Die Gleichung für den Kanalzug des Raumes *II* lautet also (Addition der Gleichungen für die Zuluft- und Abluftanlage des vorigen Beispiels);

$$\frac{h_1 - h_{11} + h_{12} + h_6}{1+\alpha t_0} - \frac{h_1}{1+\alpha t_1} + \frac{h_{11}}{1+\alpha t_{11}} - \frac{h_{12}}{1+\alpha t_{12}} - \frac{h_6}{1+\alpha t_6} + M - \frac{H_f}{1+\alpha t_8} =$$
$$= \frac{v_1^2}{2g(1+\alpha t_1)}(1 + Z_1) + \frac{v_{12}^2}{2g(1+\alpha t_{12})}(1 + Z_{12}) + \frac{v_4^2}{2g(1+\alpha t_4)} Z_4 +$$
$$+ \cdots \frac{v_9^2}{2g(1+\alpha t_9)}(1 + Z_9).$$

Nach Einsetzung der bis auf M bekannten Werthe ergiebt sich:

$$M = 7{,}514\text{ m}.$$

Die Berechnung des Ventilators ist entsprechend dem vorigen Beispiele anzustellen und kann somit auf dieses verwiesen werden.

Digitized by Google

Digitized by Google

Heizung.

Digitized by Google

Digitized by Google

Siebentes Kapitel.

Entwickelung und Nutzbarmachung der Wärme.

I. Brennstoffe.

Für die Entwickelung der Wärme zu Heizungszwecken kommen zur Zeit nur Brennstoffe, feste und gasförmige, in Betracht.

Bezüglich der Eigenschaften der Brennstoffe und der Vorgänge bei der Verbrennung wird auf Grashof, Theoretische Maschinenlehre, Bd. I, Leipzig 1875, verwiesen und sollen hier nur die für die Praxis in den meisten Fällen ausreichenden Angaben in nachstehender Zusammenstellung folgen.

Brennstoffe	L	Einfache theoretische Luftmenge				Doppelte theoretische Luftmenge				Theoretisch aus 1 kg Brennstoff erzeugte Wärmemengen
		G	Q	δ	c	G	Q	δ	c	
	kg									
Holz (lufttrocken)	4,52	5,50	4,24	1,003	0,266	10,02	7,73	1,002	0,254	2 731
Torf „	4,41	5,31	4,14	0,993	0,268	9,72	7,55	0,996	0,256	2 743
Braunkohle	6,32	7,24	5,47	1,023	0,258	13,56	10,36	1,012	0,250	4 176
Steinkohle	10,67	11,63	8,62	1,043	0,250	22,30	16,88	1,022	0,245	7 483
Koks	10,26	11,20	8,04	1,077	0,242	21,46	15,97	1,039	0,241	7 065
Steinkohlen-Leuchtgas . .	14,19	15,19	12,28	0,957	0,270	—	—	—	—	10 113
Generatorgas:										
Torf	0,89	1,89	1,40	1,042	0,251	—	—	—	—	819
Koks	0,84	1,84	1,31	1,087	0,240	—	—	—	—	816

In dieser Zusammenstellung bedeutet:

Digitized by Google

L die erforderliche theoretische Luftmenge in kg zur Verbrennung von 1 kg Brennstoff,
G das Gewicht der gasförmigen Verbrennungsprodukte von 1 kg Brennstoff,
Q die Anzahl cbm der gasförmigen Verbrennungsprodukte von 1 kg Brennstoff bei einer Temperatur von 0^0,
δ die Dichtigkeit der Heizgase bezogen auf Luft,
c die specifische Wärme der Heizgase.

Diese Zusammenstellung enthält Mittelwerthe. Ist für eine Anlage ein bestimmtes Brennmaterial vorgeschrieben und liegen über dasselbe chemische Analysen vor, so ist der theoretische Heizwerth K mit Hilfe des Ausdruckes zu bestimmen für

feste Brennstoffe:

$$K = 8000\,C + 29060\,H - 680\,H_2O - 600\,W, \qquad (79)$$

gasförmige Brennstoffe:

$$K = 29060\,H + 11090\,C_2H_4 + 10840\,C_4H_8 + 2400\,CO, \qquad (80)$$

wenn C den Kohlenstoff, H den freien Wasserstoff, H_2O das chemische Wasser, W das hygroskopische Wasser, CH_4 das Sumpfgas, C_2H_4 das ölbildende Gas, C_4H_8 das Butylen, CO das Kohlenoxyd in kg bedeutet, das in 1 kg Brennstoff enthalten ist.

Ist bei Steinkohle nur allgemein die Beschaffenheit derselben bekannt, so setze man die theoretische Wärmemenge bei Mager- und Sinterkohle 6600 *WE*, bei Backkohle den in der Zusammenstellung angegebenen Werth, bei Fettkohle und Anthracit 8000 *WE*.

In der Praxis ist bei festen Brennstoffen mindestens die ein und einhalbfache, besser die doppelte theoretische Luftmenge in Ansatz zu bringen, da infolge der körperlichen Beschaffenheit der Brennstoffe und des hierdurch erschwerten Zutritts der Luft zu den einzelnen Theilen derselben mit der einfachen theoretischen Luftmenge eine vollkommene Verbrennung nicht zu erzielen ist. Bei gasförmigen Brennstoffen ist eine Mischung mit der Verbrennungsluft leicht zu erreichen, daher mit der einfachen theoretischen Luftmenge auszukommen. Da jeder Ueberschuss von Luft die Verbrennungstemperatur herabdrückt, so sind mit gasförmigen Brennstoffen höhere Temperaturen zu erzeugen.

Bei der Verbrennung ist ein kalorimetrischer und ein pyrometrischer Heizeffekt zu unterscheiden, der erstere bezieht sich auf die Wärmemenge, die durch vollkommene Verbrennung frei wird, der letztere auf die bei der vollkommenen Verbrennung erzeugte Temperatur. Der grösste kalorimetrische Heizeffekt tritt ein, wenn für jedes Theilchen Brennstoff die höchste Oxydationsstufe erreicht wird, wenn also aller Kohlenstoff mit der Luft sich zu Kohlensäure verbindet, unbeschadet ob durch Beimengung überschüssiger Luft

Digitized by Google

die Temperatur verringert wird. Der grösste pyrometrische Heizeffekt ergiebt sich, wenn mit der geringsten Luftmenge eine vollkommene Verbrennung erzielt wird.

II. Verbrennung und Wärme-Entwickelung.

Zur nutzbaren Verbrennung der Brennstoffe sind besonders konstruirte Feuerungsanlagen erforderlich.

Dieselben müssen eine möglichst vollkommene Verbrennung und Wärme-Entwickelung bewirken, die entwickelte Wärme auf geeignete Heizflächen übertragen und die Verbrennungsgase ableiten.

Die Verbrennung und Wärme-Entwickelung, wie sie die Theorie lehrt, wird in der Praxis nie erzielt. Der Grund hierfür ist in Beschaffenheit und Lagerung des Brennmaterials, Ueberziehen desselben mit Schlacke und Asche, Oeffnen der Feuerthür beim Beschicken der Anlage, Erwärmung der Verbrennungsluft, Verlust an festen Brennstoffen, Wärmeabgabe durch die Wandung des Verbrennungsraumes, mangelhafter Mischung der Luft mit den Gastheilchen u. s. w. zu suchen. Bei gasförmigen Brennstoffen werden manche Nachtheile vermieden, besonders ist, wie bereits erwähnt, eine bessere Mischung der Gastheilchen mit der Luft möglich, das Oeffnen der Feuerungsthür für das Beschicken fällt fort u. s. w. Für die Bestimmung der erforderlichen festen Brennstoffmenge einer Anlage rechne man, dass nur 60—70% der theoretischen Wärmemenge nutzbar erzeugt wird. (S. letzte Spalte der auf S. 121 gegebenen Aufstellung.)

Der Raum, in dem die Verbrennung des Brennmaterials und die Wärme-Entwickelung stattfinden, besteht im Wesentlichen aus dem Roste mit dem Aschfalle und dem Verbrennungsraume für die entwickelten Gase.

1. Rost und Aschfall.

Der Rost hat den Zweck, das Brennmaterial aufzunehmen, demselben die zur Verbrennung erforderliche Luft gleichmässig zuzuführen und die Verbrennungsrückstände nach dem Aschfalle zu entfernen.

Er besteht mithin aus einer entweder horizontal oder geneigt über dem Aschfalle liegenden durchbrochenen Platte, oder aus einzelnen in einer Ebene liegenden Theilen. Die Dicke der Roststäbe und die Weite der Rostspalten hängt vom Brennmateriale ab, je feiner das Brennmaterial ist und je mehr es beim Verbrennen zerfällt, desto schmäler sind die Roststäbe und Rostspalten zu halten.

Der durchbrochene Theil des Rostes wird mit dem Namen „freie Rostfläche“ bezeichnet.

Die totale Rostgrösse ist bei einem Planroste und periodischer Beschickung für 100 kg Brennmaterial in der Stunde im Mittel anzunehmen für:

Digitized by Google

Steinkohlen				
Magerkohle	1,2	bis	1,4	qm,
Backkohle	1,5	„	1,8	„ ,
Anthracit	2,5	„	3,0	„ ,
im Mittel	1,4	„	1,6	„ ,
Braunkohlen	2,0	„	2,4	„ ,
Holz und Torf	1,9	„	2,1	„ ,
Koks	0,9	„	1,1	„ .

Die freie Rostfläche soll betragen für:

Steinkohlen . . .	$^1/_8$	bis	$^1/_2$	der totalen Rostfläche,	
Braunkohlen . .	$^1/_5$	„	$^1/_3$	„	„ ,
Holz und Torf .	$^1/_7$	„	$^1/_5$	„	„ ,
Koks	$^1/_3$	„	$^1/_2$	„	„ .

Der Betrieb einer Feuerungsanlage für industrielle Zwecke und der Betrieb einer solchen für Erwärmung von Räumen ist insofern ein verschiedener, als der erstere ein gleichmässiger, der letztere ein — der Aussentemperatur entsprechend — in weiten Grenzen wechselnder ist. Da die Erwärmung der Räume auch bei der niedrigsten Aussentemperatur gesichert sein muss, hat die Berechnung der Heizapparate unter Annahme des grössten Wärmebedarfs zu erfolgen. Auf dem Roste einer Feuerungsanlage soll das erforderliche Brennmaterial möglichst vollkommen verbrannt werden, dementsprechend ist seine Grösse zu bestimmen. Wird der Rost einer Feuerungsanlage für Heizzwecke nach dem grössten Wärmebedarfe bemessen, so ist er für denjenigen bei der durchschnittlichen Wintertemperatur, die für Mitteldeutschland zu etwa 0^0 anzunehmen ist, wesentlich zu gross. Es ist daher zu empfehlen, den Rost einer lediglich Heizungs- und Lüftungszwecken dienenden Anlage für den mittleren Wärmebedarf zu berechnen und lieber bei sehr niedriger Aussentemperatur, infolge angestrengteren Betriebs eine weniger gute Ausnutzung des Brennmaterials zu gestatten, als eine solche bei der am meisten stattfindenden winterlichen Durchschnittstemperatur in Kauf nehmen zu müssen.

Nach Berechnung eines Kessels macht der vorsichtige Ingenieur häufig noch Zuschläge zur ermittelten Heizfläche, um eine möglichst gute Ausnutzung des Brennmaterials und eine erhöhte Sicherheit des Effekts zu erzielen. Es ist dies durchaus empfehlenswerth, dagegen muss es bei Heizungs- und Lüftungsanlagen als unzulässig erklärt werden, wenn, wie häufig bei industriellen Anlagen, die Grösse des Rostes als ein bestimmter Theil der Kesselgrösse in Ansatz gebracht wird und somit auch der Rost durch den Sicherheitszuschlag eine Vergrösserung erfährt. Je grösser die Sicherheitszuschläge in Rücksicht auf den Rost sind, um so ungünstiger gestalten sich alsdann die ökonomischen Verhältnisse des Betriebs. Bei allen Heizungs- und Lüftungsanlagen

Digitized by Google

ist also die Rostgrösse einer Feuerungsanlage am besten für den mittleren Wärmebedarf und getrennt für diesen, d. h. nicht als ein bestimmter Theil der Grösse der Heizapparate zu berechnen. In Fällen, in denen dies nicht geschieht, finden sich häufig Anlagen, die viel zu grosse Roste besitzen und eine Verschwendung an Brennmaterial bedingen.

2. Verbrennungsraum.

In dem Verbrennungsraume findet die hauptsächlichste Verbrennung der gebildeten Gase unter vorheriger inniger Mischung mit der erforderlichen Luft statt; je vollkommener die Mischung erfolgt, um so besser ist die Verbrennung. Die Menge der zugeführten Luft ist von Wesenheit für die Verbrennung; bei zu wenig Luft entweichen die Heizgase zum Theile unverbrannt, bei zu viel Luft erfahren sie Abkühlung. Die Luftzufuhr erfolgt entweder durch den Rost allein, oder auch über bezw. hinter dem Roste; letzteres besonders dann, wenn der Beschickung des Rostes entsprechend die Luftzufuhr durch den Rost eine wechselnde sein muss. Die Temperatur im Verbrennungsraume ist möglichst hoch zu halten, daher ist derselbe aus einem schlechten Wärmeleiter herzustellen; auch ist Vorsorge zu treffen, dass eine möglichste Rückstrahlung von Wärme auf den Brennstoff stattfindet. In der Regel soll die vollkommene Flammenbildung vor der Berührung mit den kälteren Heizflächen erfolgen.

Die Verbrennung der Gase kann von der Bildung derselben zeitlich und räumlich getrennt sein (Gasfeuerung).

3. Regelung der Verbrennung.

Da die mehr oder minder vollkommene Verbrennung im Wesentlichen von der den Brennstoffen zugeführten Luftmenge abhängt, so sind Regelungsvorrichtungen für die Luftzufuhr erforderlich. Sie bestehen in zum Theile selbstthätig sich bethätigenden Einrichtungen (Klappen, Schiebern, Thüren, Ventilen), durch die bei den festen Brennstoffen der Luftzutritt zum Brennmateriale entweder unmittelbar oder mittelbar durch Beschränkung des Abzugs der Rauchgase nach dem Schornsteine geregelt werden kann. Bei den Zimmeröfen ist die letztere Regelungsweise behördlich verboten, da bei vollständigem Schlusse der Klappen Rauchgase in die Räume treten können, dagegen auffallender Weise bei Luftheizöfen — durch die gewöhnlich sogar mehrere Räume erwärmt bezw. gelüftet werden — nicht, ebenso ist die Verminderung der Zugkraft der Schornsteine durch Einführung kalter Luft in dieselben, auch bei Zimmeröfen gestattet, obgleich unter Umständen die Verminderung der Zugkraft dem Vorhandensein einer Ofenklappe mindestens gleich zu setzen ist. Bei allen Heizungsanlagen, die in, neben und unter bewohnten Räumen stehen, sollten bei Anwendung von Rauchschiebern diese jederzeit auch bei völligem

Digitized by Google

Schlusse durch eine vorzusehende entsprechende Durchbrechung den Rauchgasen einen derartigen Durchgang gestatten, dass niemals die Gefahr des Austretens derselben nach dem Heizraume zu befürchten steht. Die Verminderung der Zugkraft der Schornsteine durch Einlassen von Luft sollte bei Zimmeröfen behördlich verboten werden.

4. Rauchbildung.*)

Eine zweckentsprechende Anlage vermeidet Rauchbildung, da die bei vollkommener Verbrennung entweichenden Verbrennungsgase unsichtbar sind. Damit soll nicht gesagt werden, dass, wenn aus dem Schornsteine nur unsichtbare Verbrennungsgase entweichen, der grösstmögliche pyrometrische Effekt erzielt worden ist; Ueberschuss von Luft kühlt, wie erwähnt, die Heizgase ab. Für gewöhnlich ist daher das Entweichen eines leichten durchsichtigen Rauches als Beweis für die gute Wirkung der Feuerungsanlage der Abwesenheit von Rauch vorzuziehen.

Da nach Ansicht hervorragender Hygieniker die dauernde Einathmung von Russ schädliche Wirkung auf die Gesundheit ausübt, so ist, abgesehen vom ökonomischen und ästhetischen Standpunkte, dafür Sorge zu tragen, dass die Feuerungsanlagen übermässige Rauchbildung vermeiden. Es ist dies durch richtige Wahl des Brennmaterials, geeignete Konstruktionen der Anlage und sachverständige Bedienung zu erzielen.

Neuanlagen sollten stets nur mit der Bedingung annähernd rauchfreier Verbrennung genehmigt werden. Das Einschreiten gegen die starke Rauchbildung bei bestehenden Anlagen ist besonders in grossen Städten schwierig, da rauchfrei brennende Feuerungen bei vorhandenen sehr beschränkten Raumverhältnissen oftmals nicht unterzubringen oder mit grossen Kosten verbunden sind.

Die Technik verfügt über eine grosse Anzahl von Konstruktionen zur rauchfreien Verbrennung; allgemein lassen sich dieselben nach folgenden Gesichtspunkten zusammenstellen.**)

a) Besondere Form und Stellung des Rostes. Der Rost bildet die Stütze für das Brennmaterial und hat die Aufgabe, die Verbrennungsluft zuzuführen und die Rückstände (Asche, Schlacke) auszustossen. Die Zuführung der Verbrennungsluft hat derartig zu erfolgen, dass möglichst ein jedes Theilchen des Brennstoffes von der Luft berührt wird. Die gleichmässige Vertheilung der Luft setzt die Durchführung der Luft in gleicher Richtung voraus und eine ebene

---

*) S. a. D. Vierteljahrsschr. f. öffentl. Gesundheitspfl., Bd. XVIII, H. 1. Bach, Zur Frage der Rauchbelästigung. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1896.

**) S. Die Rauchverzehrungsfrage. Bericht der von dem Karlsruher Bez.-Ver. deutscher Ingenieure zur Behandlung der Rauchverzehrungsfrage ernannten Kommission. Karlsruhe 1884.

Digitized by Google

Gestaltung des Rostes, die Ausstossung der Rückstände dagegen eine Erweiterung der Rostspalten nach dem Aschfalle. Die Weite der Rostspalten, die Breite und Länge der Roststäbe hängen von der Art des Brennmaterials ab, jede unnöthige Breite der Roststäbe ist zu vermeiden. Zu berücksichtigen ist auch, dass sich die Verbrennungsluft an dem Roste möglichst erwärmen soll.

b) Allmähliche Einführung des Brennmaterials. *α*) Durch das Eigengewicht des Brennmaterials. Dieselbe wird meist durch Schrägstellung des Rostes und in Verbindung mit Schüttfeuerung erzielt. Zweck der Anordnung ist die allmähliche Vorwärmung des Brennmaterials, Vermeiden des Oeffnens der Feuerthür, Zutritt der Luft durch den Rost vom untern Theile durch das im Abbrennen begriffene Brennmaterial, hohe Erwärmung der Luft und Mischung derselben mit den Verbrennungsgasen (Tenbrinckfeuerung). Die Neigung des Rostes ist abhängig von der Art des Brennmaterials, backende Kohle ist auszuschliessen. Die Anordnung erfordert, entgegen häufiger Annahme, vermehrte Aufmerksamkeit des Heizers, da bei ungleichmässiger Schichthöhe oder stellenweise fehlendem Materiale ökonomische Nachtheile erwachsen.

β) Durch mechanische Vorrichtungen, bewegt entweder durch den Heizer oder durch mechanische Kraft. Sie bestehen theils in beweglichen Beibringern, die das Brennmaterial gleichmässig und der Verbrennung entsprechend an die richtige Stelle auf oder unter das brennende Material schieben, theils in beweglichen Rosten in Form eines Bandes, einer Walze, Drehscheibe u. s. w.; theils in etwas geneigten und beweglichen Roststäben, die ein Vorwärtsbewegen des Brennmaterials bewirken. Die Wirkung dieser Vorrichtungen kann nur dann eine zufriedenstellende sein, wenn sie den Eigenschaften des Brennmaterials angepasst sind, eine sorgfältige Wartung erfahren und eine Regelung der Verbrennung zulassen. Sie sind nicht billig und leicht reparaturbedürftig.

c) Zuführung erwärmter Luft über oder hinter der Feuerbrücke zwecks Mischung mit den Heizgasen und Verbrennung derselben. Unter diese Anordnungen gehören: Oeffnungen in den Feuerthüren, Kanäle in den Seitenwänden, durchbrochene Feuerbrücken, hohle Roststäbe, Gebläse. Bedingung für die gute Wirkung ist ein genaues Anpassen der Luftzuführung an den jeweiligen Stand der Verbrennung, d. h. eine sorgfältige Bedienung, da bei zu wenig Luft eine unvollkommene Verbrennung, bei zu viel Luft eine Abkühlung der Heizgase eintritt.

d) Anordnung mehrerer neben, hinter oder über einander liegender Roste. Neben einander liegende Roste haben den Zweck abwechselnder Beschickung, so dass die Heizgase des frisch aufgeworfenen Brennmaterials sich mit den hocherwärmten des im Abbrennen befindlichen Brennmaterials mischen. Die Wirkung hängt von der

Digitized by Google

Bedienung ab und ist eine wechselnde. Bei hinter und über einander liegenden Rosten dient der erste zur eigentlichen Beschickung, der andre zur Erzeugung hoher Temperatur durch in Gluth befindlichen verkokten Brennstoff.

e) Umkehrung des Zugs. Bei dieser Anordnung befinden sich die Kanäle unterhalb des Rostes, die Luft durchdringt das Brennmaterial von oben nach unten. Damit der Rost nicht in Glühhitze geräth, werden häufig die Roststäbe als Wasserröhren ausgebildet. Bedingung hierfür ist kesselsteinfreies Wasser.

f) Besondere Zubereitung des Brennmaterials. Hierher gehören die Kohlenstaubfeuerungen; Zweck derselben ist, durch den staubförmigen Zustand der Kohle einem jeden Kohlentheilchen die zur Verbrennung erforderliche Luft zuführen zu können, ohne mit einem Luftüberschusse arbeiten zu müssen — sie nähert sich daher der Gasfeuerung, auch in Bezug auf Erzielung hoher Temperaturen. Letztere sind für Schmelzprocesse u. s. w. erwünscht, nicht immer für Heizzwecke. Das Brennmaterial muss schwebend verbrennen, also trocken sein, lagert es sich zu Boden, so verkokt es nur. Die Ueberführung des Brennmaterials in staubförmigen Zustand ist nicht billig und daher je nach dem Orte der Verwendung häufig nicht wirthschaftlich.

g) Gasfeuerung. Die Vortheile der Gasfeuerung sind bereits weiter oben erwähnt worden. Das Brennmaterial wird in besonderen Apparaten (Generatoren) verkokt und vergast, alsdann das Gas nach dem Verbrennungsraume geleitet und soll mit möglichst hoch erwärmter Luft gemischt und verbrannt werden. Letzteres ist bei räumlicher Trennung des Gasentwicklers und der Verbrauchsstelle nicht immer möglich, der Betrieb dann weniger ökonomisch. Wärmeverluste der Generatoren besonders bei unterbrochenem Betriebe nicht unbedeutend, Explosionsgefahr nicht ausgeschlossen. Bei Beheizung einer grösseren Anzahl Gebäude von einer Centralstelle aus kann die Gasheizung unter bestimmten Verhältnissen vortheilhaft erscheinen, wenn es gelingt, unbedingt explosionssichere Feuerungen herzustellen. Sie ist alsdann aber nicht als eine Fernheizung mit centraler Heizstelle, sondern nur als eine Anlage für den Ferntransport des Brennstoffs anzusehen.

III. Schornstein.

1. Angenäherte Berechnung.

Für die meisten Zwecke, d. h. wenn nicht besonders grosse Anlagen oder eine ungünstige Anordnung (bedeutende Wärmeverluste oder weite Entfernung des Schornsteins von dem Feuerherde) vorliegen, darf eine angenäherte Berechnung des Schornsteins Platz greifen.

Bezeichnet:

Digitized by Google

p das in der Stunde benöthigte Brennmaterial in kg,
G das Gewicht der bei Verbrennung von 1 kg Brennmaterial entwickelten Gase in kg (s. S. 121),
h die Höhe des Schornsteins in m,
q die totale Rostfläche in qm,
d den Durchmesser oder die Seite des Schornsteinquerschnitts in m,
f den Querschnitt des Schornsteins in qm,

so kann gesetzt werden

nach Redtenbacher:

$$f = \frac{Gp}{924\sqrt{h}}, \qquad (81)$$

nach Reiche:

für Steinkohlen $f = \frac{q}{4}$, (82a)

für Braunkohlen $f = \frac{q}{6}$, (82b)

wobei $h \gtrless 25\,d$ sein soll, oder unter Berücksichtigung einer späteren Betriebsvergrösserung von etwa 30%:

$$d = 0{,}1\,p^{0{,}4} \text{ und } h = 0{,}00277\left(\frac{p}{q}\right)^2 + 6d. \qquad (83)$$

In allen Fällen soll $h \gtrless 16$ m sein.

2. Genauere Berechnung.

Für die genauere Berechnung eines in seinem Querschnitte gleichbleibenden Schornsteins sind die im Abschnitte „Lüftung" bezüglich der Luftbewegung in Kanälen angestellten Betrachtungen (s. S. 64 u. f.) ebenfalls anwendbar.

Bezeichnet:

v die Geschwindigkeit der Rauchgase bei Austritt aus dem Schornsteine in m,
v_m die mittlere Geschwindigkeit der Rauchgase im Schornsteine in m,
ϑ_1 die Temperatur der Rauchgase am Fusse des Schornsteins,
ϑ_2 die Temperatur der Rauchgase bei Austritt aus dem Schornsteine,
$\vartheta_m = \frac{\vartheta_1 + \vartheta_2}{2}$ die mittlere Temperatur der Rauchgase im Schornsteine,
t_0 die Temperatur der Aussenluft,
f den Querschnitt des Schornsteins in qm,
u den Umfang des Querschnitts in m,

Digitized by Google

h die Höhe des Schornsteins in m,
p das in der Stunde benöthigte Brennmaterial in kg,
G das Gewicht der bei Verbrennung von 1 kg Brennmaterial entwickelten Rauchgase in kg (s. S. 121),
Q die Anzahl cbm der bei Verbrennung von 1 kg Brennmaterial entwickelten Rauchgase, reducirt auf 0^0,
δ die Dichtigkeit der Rauchgase bezogen auf Luft,
ϱ den Reibungskoefficienten (berusste Fläche) $= 0{,}01$,
n die Widerstandshöhe, die durch die Reibung und einmaligen Widerstände auf dem Wege der Rauchgase im Roste bis zum Eintritte in den Schornstein hervorgerufen wird, in m,

so ist für einen gemauerten oder eisernen Schornstein die erforderliche mittlere Geschwindigkeit, die im Schornsteine erreicht werden muss:

$$v_m = \frac{Gp(1+\alpha\vartheta_m)}{1{,}293 \cdot 3600 f\delta} = \frac{Qp(1+\alpha\vartheta_m)}{3600 f} \qquad (84)$$

und der Ausdruck, aus dem sich die erreichbare Geschwindigkeit, die der vorstehenden mindestens gleich sein muss, ergiebt (s. S. 67),

$$\frac{h}{1+\alpha t_0} - \frac{h}{1+\alpha\vartheta_m} - n = \frac{v^2}{2g(1+\alpha\vartheta_2)} + \frac{v_m^2}{2g(1+\alpha\vartheta_m)} \frac{\varrho h u}{f},$$

sofern der senkrechte Abstand des Rostes vom Fuchse, wie meist, nur ein geringer ist.

Es verhält sich nun:

$$v : v_m = \frac{1}{1+\alpha\delta_m} : \frac{1}{1+\alpha\vartheta_2}$$

somit ist:

$$v_m = \frac{v(1+\alpha\vartheta_m)}{1+\alpha\vartheta_2}.$$

Diesen Werth in die vorstehenden beiden Gleichungen eingeführt, ergiebt, sofern für t_0 die mittlere Wintertemperatur, d. h. $t_0 = 0$, gesetzt wird,

die erforderliche Austrittsgeschwindigkeit:

$$v = \frac{Gp(1+\alpha\vartheta_2)}{1{,}293 \cdot 3600 f\delta} = \frac{Qp(1+\alpha\vartheta_2)}{3600 f}, \qquad (85)$$

die Gleichung für die erreichbare Austrittsgeschwindigkeit:

$$h\left(1 - \frac{1}{1+\alpha\vartheta_m}\right) - n = \frac{v^2}{2g(1+\alpha\vartheta_2)}\left(1 + \frac{1+\alpha\vartheta_m}{1+\alpha\vartheta_2}\frac{\varrho h u}{f}\right). \qquad (86)$$

Für die Benutzung dieser Gleichung sind zwei Fälle zu unterscheiden: die Abkühlung der Rauchgase kann vernachlässigt werden oder die Abkühlung der Rauchgase kann nicht vernachlässigt werden.

Digitized by Google

Kann die Abkühlung der Rauchgase vernachlässigt werden, was bei allen nicht frei stehenden gemauerten Schornsteinen zulässig erscheint, so ist $\vartheta_m = \vartheta_2 = \vartheta_1$, es geht dann also die Gl. 86 in die andere über:

$$h\left(1 - \frac{1}{1+\alpha\vartheta_1}\right) - n = \frac{v^2}{2g(1+\alpha\vartheta_1)}\left(1 + \frac{\varrho h u}{f}\right). \quad (87)$$

Kann die Abkühlung der Rauchgase nicht vernachlässigt werden, was meist bei frei stehenden, stets aber bei eisernen Schornsteinen der Fall ist, so unterliegt zunächst noch die Temperatur ϑ_2 einer Bestimmung. Für diese ist massgebend, dass die Wärme, welche die Rauchgase an die Schornsteinwand abgeben, gleich der Wärme sein muss, die durch Abkühlung der Schornsteinwand verloren geht. Wird diese Wärme mit W, ausserdem die specifische Wärme mit c (s. S. 121) und der Wärmetransmissionskoefficient der Schornsteinwand mit k bezeichnet, so ist sowohl:

$$W = G p c (\vartheta_1 - \vartheta_2),$$

als auch:

$$W = k h u \frac{\vartheta_1 + \vartheta_2}{2}.$$

Durch Vereinigung beider Gleichungen ergiebt sich:

$$\vartheta_2 = \frac{\vartheta_1 (2 G p c - k h u)}{2 G p c + k h u}. \quad (88)$$

k ist für Eisen in freier Luft etwa 12 zu setzen, für gemauerte Schornsteine ist der Werth des Transmissionskoefficienten erst durch Rechnung zu bestimmen (s. S. 140 u. f.).

Besteht der Schornstein bei durchweg gleichem Querschnitte aus einem gemauerten Theile von der Höhe h' und aus einem auf denselben sich aufsetzenden eisernen Rauchrohre von der Höhe h'' und ist ϑ_m' bezw. ϑ_m'' die mittlere Temperatur, v_m' bezw. v_m'' die mittlere Geschwindigkeit der Rauchgase im unteren (gemauerten) bezw. oberen (eisernen) Theile des Schornsteins, so ist die erforderliche mittlere Geschwindigkeit:

$$v_m' = \frac{G p (1+\alpha\vartheta_m')}{1{,}293 \cdot 3600 f \delta} \text{ bezw. } v_m'' = \frac{G p (1+\alpha\vartheta_m'')}{1{,}293 \cdot 3600 f \delta}$$

und der Ausdruck für die erreichbare Geschwindigkeit, wenn wiederum $t_0 = 0$ gesetzt wird:

$$h - \frac{h'}{1+\alpha\vartheta_m'} - \frac{h''}{1+\alpha\vartheta_m''} - n = \frac{v^2}{2g(1+\alpha\vartheta_2)} + \frac{v_m'^2}{2g(1+\alpha\vartheta_m')}\frac{\varrho h' u}{f} + \frac{v_m''^2}{2g(1+\alpha\vartheta_m'')}\frac{\varrho h'' u}{f}.$$

Digitized by Google

Reducirt man wieder alle Geschwindigkeiten auf die Austrittsgeschwindigkeit der Rauchgase, so wird:

$$v_m' = \frac{v(1+\alpha\vartheta_m')}{1+\alpha\vartheta_2} \text{ und } v_m'' = \frac{v(1+\alpha\vartheta_m'')}{1+\alpha\vartheta_2},$$

also erhält man wiederum für die erforderliche Austrittsgeschwindigkeit die Gl. 85:

$$v = \frac{Gp(1+\alpha\vartheta_2)}{1{,}293\cdot 3600 f\delta} = \frac{Qp(1+\alpha\vartheta_2)}{3600 f}$$

und als Ausdruck für die erreichbare Austrittsgeschwindigkeit:

$$h - \frac{h'}{1+\alpha\vartheta_m'} - \frac{h''}{1+\alpha\vartheta_m''} - n = \frac{v^2}{2g(1+\alpha\vartheta_2)} \times \left\{1 + \frac{\varrho u}{f(1+\alpha\vartheta_2)}\left[(1+\alpha\vartheta_m')h' + (1+\alpha\vartheta_m'')h''\right]\right\}. \quad (89)$$

In diesem Falle kann meist die Abkühlung im gemauerten Theile des Schornsteins vernachlässigt werden, dagegen nicht im eisernen Theile. Für diesen ist also, wie vorstehend, zunächst die Bestimmung von ϑ_2 bezw. $\vartheta_m'' = \frac{\vartheta_1+\vartheta_2}{2}$ zu bewirken. Die Gl. 89 geht alsdann in die andere über:

$$h - \frac{h'}{1+\alpha\vartheta_1} - \frac{h''}{1+\alpha\vartheta_m''} - n = \frac{v^2}{2g(1+\alpha\vartheta_2)} \times \left\{1 + \frac{\varrho u}{f(1+\alpha\vartheta_2)}\left[(1+\alpha\vartheta_1)h' + (1+\alpha\vartheta_m'')h''\right]\right\}. \quad (90)$$

Der Werth von n in den bisherigen Gleichungen ist die Summe aus den verschiedenen Widerstandshöhen infolge des Durchgangs der Luft durch Aschfall, Brennmaterial, Rost, Feuerzüge und Fuchs.

Soweit Kanäle (also auch der Aschfall, Fuchs) und der Rost in Frage kommen, ist die Widerstandshöhe wie früher (s. Lüftung) zu bilden, d. h. sie ist allgemein zu setzen:

$$\frac{v^2}{2g(1+\alpha t)}\left(\frac{\varrho l u}{f} + \Sigma\zeta\right), \quad (91)$$

worin v die Geschwindigkeit der Verbrennungsgase oder Luft in den betreffenden Kanälen, t die mittlere Temperatur der Gase bedeutet, die übrigen Grössen dieselbe Bedeutung wie früher haben.

Für den Durchgang der Luft durch das Brennmaterial ist die Widerstandshöhe in Meter nach Grashof zu setzen:

$$25 G b^2, \quad (92)$$

wenn mit b die Dicke der Brennstoffschicht bezeichnet wird; b ist anzunehmen für:

Digitized by Google

Steinkohlen (im Mittel)	0,1
„ backende oder staubförmige . .	0,08
„ magere	0,12
Holz und Torf	0,2
Koks	0,25.

Die Widerstandshöhe, die infolge Durchgangs der Luft durch das Brennmaterial hervorgerufen wird, ist im Vergleiche zu der Widerstandshöhe infolge Durchgangs durch den Rost so überwiegend gross, dass letztere vernachlässigt oder durch Aufrundung der ersteren berücksichtigt werden kann.

Die Lösung der Gleichungen erfolgt wie früher angegeben (s. Lüftung) durch Wahl desjenigen f, das die Gleichheit der erreichbaren und erforderlichen Geschwindigkeit hervorruft.

Zunächst ist probeweise der Querschnitt f nach einer der unter α) angegebenen angenäherten Berechnungsweisen anzunehmen, ebenso ist h — falls nicht vorgeschrieben — zu wählen, alsdann ist, falls die Abkühlung der Rauchgase im Schornsteine nicht gewählt werden kann, ϑ_2 und ϑ_m bezw. ϑ_m'' zu bestimmen. Hierauf folgt die Bestimmung des Werthes von n. Aus der linken Seite der Gleichungen für die erreichbare Geschwindigkeit erkennt man sofort, ob überhaupt eine wirksame Druckhöhe für die Bewegung der Rauchgase im Schornsteine nach den Werthen von h bezw. der Temperaturen vorhanden ist oder ob eine Aenderung derselben einzutreten hat. Ist die linke Seite positiv, dann folgt die Bestimmung der erforderlichen und erreichbaren Geschwindigkeit aus den Gleichungen. Stimmen diese Geschwindigkeiten nicht genügend überein — zum mindesten darf die erreichbare Geschwindigkeit nicht kleiner als die erforderliche sein —, so ist die Rechnung unter Annahme eines andern Querschnitts oder einer andern Höhe bezw. anderer Temperaturen zu wiederholen.

3. Beispiele zur Berechnung eines Schornsteins.

Beispiel 1. Aufgabe. Es ist der vor Wärmeabgabe geschützte Schornstein einer Centralheizung zu berechnen, die stündlich 15 kg Koks erfordert. Die Höhe des Schornsteins beträgt 20 m.

Lösung der Aufgabe. Da die Anlage keine bedeutende Grösse besitzt und der Schornstein vor Wärmeabgabe geschützt ist, so kann die angenäherte Bestimmung des Schornsteins Platz greifen. Nach der Tabelle auf S. 121 ist für Koks $G = 21{,}46$, ferner ist $p = 15$, $h = 20$ und somit nach Redtenbacher (Gl. 81):

$$f = \frac{21{,}46 \cdot 15}{924\sqrt{20}} = 0{,}0779 \sim 0{,}08 \text{ qm}.$$

Beispiel 2. Aufgabe. Es ist der vor Wärmeabgabe geschützte Schornstein einer Centralheizung zu berechnen, die stündlich 50 kg Steinkohlen (Magerkohle) erfordert. Die Höhe des Schornsteins beträgt 25 m. Es sind zwei gleichgrosse Kesselanlagen vorhanden, eine jede besitzt eine totale Rostfläche von 0,35 qm.

Digitized by Google

Für die Rauchzüge einschliesslich des Fuchses soll zur einfacheren und sicheren Berechnung der Widerstandshöhe durchweg ein gleicher, und zwar der ungünstigste, Querschnitt der Rauchzüge von 1 m × 0,12 m angenommen werden. Die Rauchzüge einschliesslich Fuchs haben eine Länge von 18 m. Die einmaligen Widerstände in den Rauchzügen werden hervorgerufen durch die Feuerbrücke und acht rechtwinkelige Ablenkungen. Die Grösse der Kessel ist für eine Abgangstemperatur von 250° berechnet worden.

Lösung der Aufgabe. Gemäss der Aufgabe ist $p = 50$, $\vartheta_1 = \vartheta_m = 250$, $h = 25$, ferner nach der Zusammenstellung auf S. 121 $G = 22{,}3$, $c = 0{,}245$, $\delta = 1{,}022$. Der Schornsteinquerschnitt ist angenähert nach Redtenbacher (Gl. 81):

$$f = \frac{22{,}3 \cdot 50}{924\sqrt{25}} = 0{,}241 \text{ qm} \sim 0{,}5 \text{ m} \times 0{,}5 \text{ m},$$

nach Reiche (Gl. 81a):

$$f = \frac{2 \cdot 0{,}35}{4} = 0{,}176 \text{ qm} \sim 0{,}42 \text{ m} \times 0{,}42 \text{ m}.$$

Da keine Abkühlung des Schornsteins anzunehmen ist, könnte einer dieser Schornsteinquerschnitte für die Ausführung beibehalten werden, doch soll die genaue Berechnung durchgeführt werden, damit Sicherheit besteht, dass der Querschnitt ausreichend ist.

Da Temperaturbestimmungen nicht anzustellen sind, so hat zunächst die Widerstandshöhe n Erledigung zu finden. Der Theil derselben, der dem Durchgange der Luft und der Rauchgase durch das Brennmaterial entspricht, ist nach Ausdruck 92 (S. 132), da Magerkohle zur Verwendung gelangen soll, somit $b = 0{,}12$ zu setzen ist:

$$n_1 = 25 \cdot 22{,}3 \cdot 0{,}12^3 = 8{,}028 \text{ m}.$$

Die Widerstandshöhe in den Rauchzügen ist nach dem Ausdrucke 91 zu bestimmen. Verlassen die Rauchgase den Rost mit einer Temperatur von 1200° und treten, wie vorgeschrieben, mit 250° in den Schornstein, so ist die mittlere Temperatur in den Rauchzügen $t = \frac{1200 + 250}{2} = 725°$. Dieser Temperatur entspricht eine erforderliche Geschwindigkeit der Rauchgase nach dem Ausdrucke 85, da auf jede Feuerung 25 kg Brennmaterial entfällt, von

$$\frac{22{,}3 \cdot 25\,(1 + \alpha\, 725)}{1{,}293 \cdot 3600 \cdot 0{,}12 \cdot 1{,}022} = 3{,}57 \text{ m}.$$

Da die Länge der Rauchzüge 18 m, der Querschnitt derselben 0,12 qm, der Umfang des Querschnitts 2,24 m, der Reibungskoefficient 0,01 und die Summe der einmaligen Widerstände, wenn für die Feuerbrücke der Werth 1, für jede der 8 rechtwinkeligen Ablenkungen der Werth 1,5 angenommen wird, 13 ist, so ergiebt sich die Widerstandshöhe in der Feuerungsanlage (Gl. 91):

$$n_2 = \frac{3{,}57^2}{2g\,(1 + \alpha\, 725)}\left(\frac{0{,}01 \cdot 18 \cdot 2{,}24}{0{,}12} + 13\right) = 2{,}88 \text{ m}.$$

Die übrigen Widerstände sind gegenüber den bereits behandelten so klein, dass sie durch eine geringe Aufrundung dieser gedeckt werden können. Es ist also

$$n = n_1 + n_2 = 8{,}028 + 2{,}88,$$

wofür als sicher genug, besonders da auch für die gesammten Rauchzüge der ungünstigste Querschnitt in Rücksicht gezogen worden ist, rund 11 m gesetzt werden soll.

Die erforderliche Geschwindigkeit der Rauchgase ist unter Annahme des angenäherten Schornsteinquerschnitts (nach Redtenbacher) von 0,5 m × 0,5 m gemäss des Ausdrucks 85:

Digitized by Google

$$v = \frac{22{,}3 \cdot 50\,(1 + \alpha 250)}{1{,}293 \cdot 3600 \cdot 0{,}25 \cdot 1{,}022} = 1{,}796 \sim 1{,}8 \text{ m}.$$

Die Gleichung für die erreichbare Geschwindigkeit lautet nach Gl. 87:

$$25\left(1 - \frac{1}{1 + \alpha 250}\right) - 11 = \frac{v^2}{2g(1 + \alpha 250)}\left(1 + \frac{0{,}01 \cdot 25 \cdot 2}{0{,}25}\right).$$

Die linke Seite dieser Gleichung ergiebt, dass für die Rauchgase im Schornsteine eine wirksame Druckhöhe von 0,95 m übrig bleibt. Auf v die Gleichung gelöst, giebt alsdann:

$$v = 3{,}45 \text{ m}.$$

Der Schornstein kann also kleiner im Querschnitte gewählt werden; nimmt man ihn zu 0,4 m $\times$ 0,4 m = 0,16 qm an, so wird:

die erforderliche Geschwindigkeit $v = 2{,}80$ m,
die erreichbare Geschwindigkeit $v = 3{,}19$ m.

Wesentlich kleiner ist der Querschnitt nicht mehr zu nehmen, also 0,4 m $\times$ 0,4 m zu belassen, was also mit dem nach Reiche berechneten Werthe fast genau übereinstimmt.

Beispiel 3. Aufgabe. Es sind die gleichen Verhältnisse wie im Beispiele 2 anzunehmen, nur soll ein eiserner Schornstein von 8 m Höhe auf einem gemauerten von 12 m Höhe zu stehen kommen.

Lösung der Aufgabe. Für den gemauerten, aber nicht für den eisernen Theil des Schornsteins kann der Wärmeverlust vernachlässigt werden. Es soll ein runder Querschnitt angenommen werden und, da der Querschnitt im vorigen Beispiele (nach Redtenbacher) angenähert zu 0,24 qm berechnet worden ist, wofür 0,246 qm genommen werden soll, so ergiebt sich ein Durchmesser von 0,56 m und ein Umfang von 1,76 m. Wie früher ist $p = 50$, $G = 22{,}3$, $c = 0{,}245$, und somit gemäss Gl. 88 für den 8 m hohen eisernen Schornstein, da die Anfangstemperatur der Rauchgase 250° beträgt und $k = 12$ gesetzt werden soll:

$$\vartheta_2' = \frac{250\,(2 \cdot 22{,}3 \cdot 50 \cdot 0{,}245 - 12 \cdot 8 \cdot 1{,}76)}{2 \cdot 22{,}3 \cdot 50 \cdot 0{,}245 + 12 \cdot 8 \cdot 1{,}76} = 132°,$$

also:

$$\vartheta_m'' = \frac{250 + 132}{2} = 191°.$$

Die erforderliche Geschwindigkeit beim Austritte der Rauchgase berechnet sich nach Gl. 85:

$$v = \frac{22{,}3 \cdot 50\,(1 + \alpha 132)}{1{,}293 \cdot 3600 \cdot 0{,}246 \cdot 1{,}022} = 1{,}41 \text{ m}.$$

Die Gleichung für die erreichbare Geschwindigkeit lautet nach Gl. 89:

$$20 - \frac{12}{1 + \alpha 250} - \frac{8}{1 + \alpha 191} - 11 = \frac{v^2}{2g(1 + \alpha 132)}\left\{1 + \right.$$
$$\left. + \frac{0{,}01 \cdot 1{,}76}{0{,}246\,(1 + \alpha 132)}\left((1 + \alpha 250)\,12 + (1 + \alpha 191)\,8\right)\right\}.$$

Die linke Seite der Gleichung ergiebt einen negativen Werth, somit muss die Temperatur der abziehenden Rauchgase oder die Höhe des Schornsteins vergrössert werden. Ist die Temperatur beizubehalten, so berechnet sich für die bestimmte erforderliche Geschwindigkeit die Höhe des Schornsteins aus der Gleichung zu 16,5 m statt zu 12 m, wie angenommen war.

Digitized by Google

Aus den vorstehenden Beispielen geht hervor, dass für gemauerte Schornsteine (auch für freistehende) die besonders nach Redtenbacher bestimmten angenäherten Schornsteinquerschnitte, wenn nicht besonders ungünstige Verhältnisse vorliegen (grosse Entfernung des Schornsteins vom Feuerherde), als sicher angesehen werden können, für eiserne Schornsteine dagegen meist nicht. Für diese ist stets eine genaue Berechnung anzustellen, ebenfalls für gemauerte Schornsteine sehr grosser Anlagen; für die letzteren, um zu weite Querschnitte, die unter Umständen bei beschränktem Betriebe der Anlage nachtheilig wirken können, zu vermeiden.

Achtes Kapitel.

Erforderliche Wärmemenge zur Erwärmung eines geschlossenen Raumes.*)

I. Wärme-Ueberführung im Allgemeinen.

Wenn sich zwei Körper von verschiedener Temperatur berühren, so findet von dem wärmeren auf den kühleren Körper eine Wärme-Uebertragung statt; diese wird mit „Wärmeleitung“ bezeichnet. Wenn sich zwei Körper von verschiedener Temperatur nicht berühren, so kann, falls sich zwischen ihnen ein luftleerer Raum oder ein geeignetes Mittel, wie z. B. Luft befindet, ebenfalls eine Wärme-Uebertragung, ohne Erwärmung dieses Mittels durch Schwingungen des Aethers erfolgen; diese wird mit „Wärmestrahlung“ bezeichnet.

Die Umschliessungskörper eines Raumes (Wände, Fenster u. s. w.) besitzen jederzeit eine andere Temperatur als die Innen- und Aussenluft, auch die Wärmevertheilung in den einzelnen Schichten dieser Körper ist eine ungleiche und schwankende. Im Allgemeinen kann angenommen werden, dass durch die Umschliessungskörper bei einer Temperatur im Raume, die höher ist als die der äusseren Luft, eine Wärme-Aufnahme von der Innenluft und Wärme-Uebertragung nach aussen, umgekehrt aber eine Wärme-Aufnahme von der Aussenluft und Wärme-Uebertragung nach innen stattfindet. Diese Wärme-Uebertragung bezeichnet man mit dem Namen „Wärmetransmission“. Es darf vorausgesetzt werden, dass die Wärmetransmission, sofern die beiderseitigen verschiedenen Temperaturen stetige bleiben, mit der Zeit in den Beharrungszustand übergeht, also eine gewisse Grösse annimmt, dass aber die vor dem Beharrungszustande auf einer Seite des Körpers aufgenommene Wärme auf der andern Seite nicht in gleichem Maſse abgegeben, sondern entweder ganz oder theilweise

*) S. a. Grashof, Theoretische Maschinenlehre, Leipzig 1875.

Digitized by Google

zur Eigenerwärmung des betreffenden Körpers verwendet wird. Diese Eigenerwärmung der Umschliessungskörper eines Raumes bezeichnet man mit dem Namen der „Wärme-Absorption".

Sofern die Wärmetransmission und Wärme-Absorption für einen Raum einen Wärmeverlust bedeuten, muss derselbe bei Einhaltung bezw. Herstellung einer bestimmten Innentemperatur durch anzuordnende Wärmeflächen (Heizkörper) ersetzt werden. Die Wärme-Abgabe dieser Heizkörper, die mit dem Namen „Wärme-Emission" bezeichnet wird, muss also im Beharrungszustande der Wärmetransmission und vor dem Beharrungszustande auch der Wärme-Absorption der Umschliessungskörper eines Raumes gleich sein. Die Heizkörper erhalten die Wärme von den Wärmerecipienten, d. h. von denjenigen Körpern, welche die aus dem Brennmateriale zu diesem Zwecke frei zu machende Wärme aufnehmen. Die eigenartige Form der Wärmerecipienten und Heizkörper und die Art und Weise der Wärmeführung von den ersteren auf die letzteren bedingen die Form und den Namen des betreffenden Heizungssystems.

Die für die Erwärmung geschlossener Räume anzustellende Berechnung erstreckt sich also nach dem Gesagten auf die Berechnung der erforderlichen Wärmemenge durch Transmission und, sofern der Beharrungszustand durch stetige Erwärmung der Räume nicht stattfindet, also in der Zwischenzeit eine Abkühlung der Umschliessungskörper eintritt, auch auf die erforderliche Wärmemenge der Absorption; ausserdem auf die Grössenverhältnisse der Heizflächen und aller sonstigen Theile der Heizungsanlage.

II. Wärmemenge, die stündlich im Beharrungszustande durch die Umschliessungskörper eines Raumes verloren geht (Wärmetransmission).

1. Aufstellung der Gleichung.

Bei den folgenden Betrachtungen soll vorausgesetzt werden, dass eine Bewegung der Luft an den Flächen der Umschliessungskörper nicht stattfindet. Es ist dies natürlich, besonders wenn die Flächen senkrechte sind, nicht zutreffend, indessen entziehen sich die vielfachen Verhältnisse, die auf die Bewegung der Luft von Einfluss sind, meist der Beurtheilung. Man hat sich in der Praxis dadurch zu helfen, dass man durch den zu wählenden Werth des Transmissionskoefficienten diesen Verhältnissen nach Möglichkeit Rechnung trägt oder dass man in bestimmten Fällen entsprechende Sicherheitszuschläge vorsieht.

Es soll ferner vorausgesetzt werden, dass die Begrenzungsflächen des Umschliessungskörpers eines Raumes parallel, aber von verschiedener Grösse sind, dass die Umschliessungskörper homogener Natur sind und dass durchweg als Zeiteinheit die Stunde anzunehmen ist.

Digitized by Google

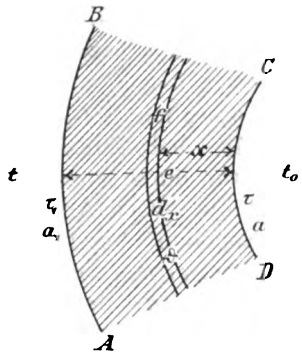


Fig. 17.

Die Wärmemenge W, die durch eine Fläche eines homogenen Körpers ein- bezw. ausströmt, ist erfahrungsgemäss proportional dieser Fläche, einem Ein- und Austrittskoefficienten und dem Unterschiede zwischen der Temperatur der die Fläche berührenden Flüssigkeit — im vorliegenden Falle ist dies Luft — und der Fläche selbst zu setzen. Bezeichnet in Fig. 17:

F die Wärme abgebende Fläche auf der Seite CD,

F_1 die Wärme aufnehmende Fläche auf der Seite AB,

t_0 bezw. t die Temperatur der Luft auf der Seite CD bezw. AB,

τ bezw. τ_1 die Flächentemperatur auf der Seite CD bezw. AB,

a bezw. a_1 den Aus- bezw. Eintrittskoefficienten, d. h. die Wärmemenge, die pro Quadratmeter stündlich bei einem Grade Temperaturunterschied zwischen Fläche und Luft bezw. umgekehrt aus- bezw. einströmt,

so muss die aus- bezw. einströmende Wärme W nach dem Gesagten sein:

$$W = F a (\tau - t_0) \quad \text{bezw.} \quad W = F_1 a_1 (t - \tau_1),$$

sofern $t_0 < \tau < \tau_1 < t$ ist.

Aus diesen Gleichungen folgt:

$$\tau = t_0 + \frac{W}{Fa} \quad \text{und} \quad \tau_1 = t - \frac{W}{F_1 a_1}.$$

Betrachtet man in der Entfernung x von F eine der Gestalt des Körpers entsprechende, den Flächen F und F_1 parallele Schicht f von der Stärke dx, so muss durch dieselbe die Wärme, wie durch den ganzen Körper, von der Seite AB aus übergeleitet werden. Ist:

e die Stärke der Wand in m,

ϑ die Temperatur in der Schicht f,

λ der Ueberleitungskoefficient der Wärme, d. h. die Wärmemenge, die stündlich durch eine Schicht von einem Meter Stärke und einer Flächenausdehnung von einem Quadratmeter bei einem Grade Temperaturunterschied übergeleitet wird,

so muss für den Beharrungszustand sein:

$$W = f\lambda \frac{d\vartheta}{dx}, \quad \text{also} \quad d\vartheta = -\frac{W}{f\lambda} dx.$$

Digitized by Google

Für $x = 0$ wird $\vartheta = \tau$, für $x = e$ wird $\vartheta = \tau_1$, also ist:

$$\tau_1 - \tau = \frac{W}{\lambda} \int_0^e \frac{dx}{f}.$$

Werden in diesen Ausdruck die obigen Werthe von τ und τ_1 eingesetzt, so erhält man nach einigen Umformungen:

$$W = \frac{t - t_0}{Fa + F_1 a_1 + \frac{1}{\lambda} \int_0^e \frac{dx}{f}}. \qquad (93)$$

Für eine ebene Wand ist dann, da $F = F_1 = f$ wird:

$$W = \frac{F(t - t_0)}{\frac{1}{a} + \frac{1}{a_1} + \frac{e}{\lambda}}, \qquad (94)$$

oder, wenn man $\frac{1}{a} + \frac{1}{a_1} + \frac{e}{\lambda} = \frac{1}{k}$ setzt, (95)

$$W = Fk(t - t_0).$$

k wird mit dem Namen Transmissionskoefficient bezeichnet.

In der Regel bestehen die Umschliessungskörper eines Raumes (Wände, Decken u. s. w.) nicht aus einem, sondern aus verschiedenen schichtenweise gelagerten Körpern. So z. B. besteht eine Wand aus den Bausteinen, dem Fugenmörtel, dem Putze, ausserdem erhält dieselbe noch einen Anstrich, Tapete u. dergl.

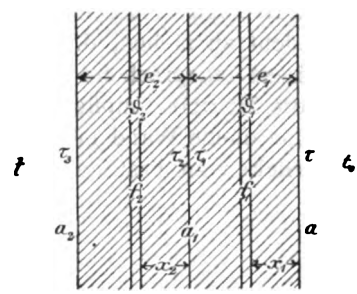


Fig. 18.

Bei zwei parallelen, ebenen, dicht auf einander liegenden Wandschichten, bei denen also die Durchgangsflächen gleich gross, d. h. gleich F sind, ist gemäss Fig. 18 und deren Bezeichnungen nach dem Früheren:

$$\tau = t_0 + \frac{W}{Fa}, \quad \tau_1 = \tau_2 - \frac{W}{Fa_1}, \quad \tau_3 = t - \frac{W}{Fa_2},$$

ferner:

$$d\vartheta_1 = \frac{W}{F\lambda_1} dx_1 \quad \text{und} \quad d\vartheta_2 = \frac{W}{F\lambda_2} dx_2,$$

somit:

$$\tau_1 - \tau = \frac{We_1}{F\lambda_1} \quad \text{und} \quad \tau_3 - \tau_2 = \frac{We_2}{F\lambda_2}.$$

Werden in den letzten Ausdrücken die obigen Werthe von τ, τ_1

Digitized by Google

und τ_2 eingesetzt und dieselben alsdann addirt, so ergiebt sich nach entsprechender Umformung:

$$W = \frac{F(t - t_0)}{\frac{1}{a} + \frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2}}.$$

Wird ebenfalls der Nenner in diesem Ausdrucke $\frac{1}{k}$ gesetzt, so ist wieder:

$$W = Fk(t - t_0).$$

Ohne eine weitere Entwickelung nöthig zu machen, ergiebt sich unmittelbar für eine Wand von n ebenen, parallelen Schichten:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} + \ldots + \frac{1}{a_n} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \ldots + \frac{e_n}{\lambda_n} \quad (96)$$

und für die Berechnung der stündlichen Wärmeverluste eines Raumes allgemein der Ausdruck:

$$W = Fk(t - t_0). \quad (97)$$

Die Flächen F sind stets gegeben, einer Bestimmung bezw. Besprechung haben noch der Transmissionskoefficient k, die Aussentemperatur t_0 und die Innentemperatur t zu unterliegen.

2. Bestimmung des Transmissionskoefficienten k.

Da die Transmissionskoefficienten stets für den ungünstigsten Fall ausreichen müssen, so ist dieser bei der Grössenbestimmung in Rücksicht zu ziehen, d. h. es ist stets dahin zu streben, die den Verhältnissen entsprechend grössten Transmissionskoefficienten zu erhalten. Für die Praxis empfiehlt sich daher, die Transmissionskoefficienten für eine ebene Wand mit parallelen Begrenzungsflächen nach folgenden Ausdrücken zu bestimmen.

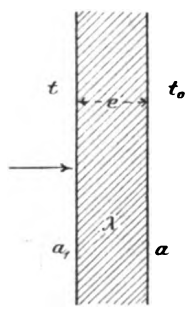


Fig. 19.

a) Die Wand besteht aus einer Schicht. Die Anordnung und Richtung der Wärme-Ueberleitung s. Fig. 19.

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a_1} + \frac{e}{\lambda}. \quad (98)$$

Digitized by Google

b) Die Wand besteht aus n Schichten von verschiedenem Materiale (z. B. Tapete, Putz, Mauer, Anstrich u. s. w. gemäss Fig. 20), die dicht auf einander liegen, so dass keine Luft zwischen denselben angenommen werden kann, von Schicht zu Schicht also nur Ueberleitung der Wärme besteht:

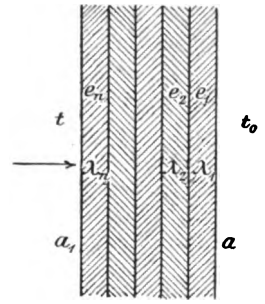


Fig. 20.

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a_1} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \\ + \frac{e_2}{\lambda_2} + \ldots + \frac{e_n}{\lambda_n}. \qquad (99)$$

c) Die Wand besteht aus zwei senkrechten Schichten mit dazwischen liegender Luftschicht (s. Fig. 21) oder aus

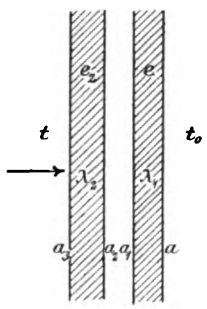


Fig. 21.

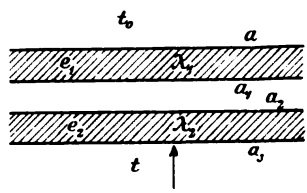


Fig. 22.

zwei horizontalen Wänden, bei denen der Wärmedurchgang von unten nach oben stattfindet (Fig. 22), in der Luftschicht also Bewegung der Luft, daher keine Ueberleitung der Wärme anzunehmen ist:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} + \frac{1}{a_3} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2}. \qquad (100)$$

d) Die Wand besteht aus zwei horizontalen Schichten mit dazwischen liegender Luftschicht, bei denen der Wärmedurchgang von oben nach unten stattfindet (Fig. 23), in der Luftschicht also keine Bewegung der Luft und daher Ueberleitung der Wärme anzunehmen ist:

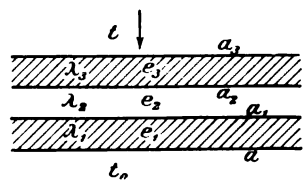


Fig. 23.

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} + \frac{1}{a_3} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{e_3}{\lambda_3}. \qquad (101)$$

In den Ausdrücken für $\frac{1}{k}$ sind die Werthe für die Ueberleitungskoefficienten λ der Tabelle 11 zu entnehmen, die Werthe der

Digitized by Google

Aus- bezw. Einströmungskoefficienten a sind dagegen noch einer Bestimmung zu unterwerfen.

Nach Peclet kann für den Wärmedurchgang von Luft an Luft, gültig bis 60^0, allgemein der Aus- bezw. Einströmungskoefficient der Wärme gesetzt werden

für eine Aussenwand oder für eine einem ungeheizten und kalten Raume zugewendete, d. h. eine bezüglich der Temperaturverhältnisse einer Aussenwand gleich zu behandelnde Wand:

$$l + s + (0{,}0075\, l + 0{,}0056\, s)(\Delta - \Delta_1), \qquad (102)$$

für eine Innenwand:

$$l + s + 0{,}0075\, l(\Delta - \Delta_1), \qquad (103)$$

sofern bedeutet:

l den Koefficienten für die Leitung der Wärme infolge Berührung der Luft mit einem festen Körper,

s den Koefficienten für die Wärmestrahlung,

$\Delta - \Delta_1$ den Temperaturunterschied zwischen dem festen Körper und der Luft bezw. umgekehrt.

Aus diesen Ausdrücken geht hervor, dass die Transmissionskoefficienten k nicht nur von der Stärke der Wand, sondern auch von dem Temperaturunterschiede zwischen der Innen- und Aussenluft $(t - t_0)$ abhängen, da man für einen bestimmten Werth von $t - t_0$ auch $\Delta - \Delta_1$ eine bestimmte Grösse annehmen muss. In der Praxis kann dies aber vernachlässigt werden, sofern den Aus- und Einströmungskoefficienten die zu erwartende höchste Innen- und niedrigste Aussentemperatur zu Grunde gelegt wird. Die sich alsdann ergebenden Transmissionskoefficienten können in Anbetracht, dass eine kleine Veränderung des Temperaturunterschiedes $\Delta - \Delta_1$ von keinem bedeutenden Einflusse ist, auch für tiefere Innen- und höhere Aussentemperaturen, als der Berechnung zu Grunde gelegt worden sind, benutzt werden. In der Regel wird man daher für die Berechnung der Aus- und Eintrittskoefficienten eine Innentemperatur von $+20^0$ und eine Aussentemperatur von -20^0 für $\Delta - \Delta_1$ in Rücksicht ziehen können. Bei wesentlich anderen Temperaturen aber, also z. B. für Trockenräume, Schornsteine u. s. w. empfiehlt sich eine besondere Bestimmung der Transmissionskoefficienten unter Berücksichtigung der geforderten Innen- und Aussentemperatur. Der Temperaturunterschied $\Delta - \Delta_1$ ist zur Zeit nur zu schätzen — da ein geringer Schätzungsfehler keinen wesentlichen Einfluss hat, so genügen auch für die Praxis Schätzungswerthe. Unter Voraussetzung einer Innentemperatur von $t = +20^0$ und einer Aussentemperatur von $t_0 = -20^0$ möge für den Temperaturunterschied $\Delta - \Delta_1$ zwischen Luft und Berührungsfläche oder umgekehrt beispielsweise angenommen werden

Digitized by Google

für Backsteinmauern	von . . .	0,12 m	Stärke	8^0
„ „	„ . . .	0,25 m	„	7^0
„ „	„ . . .	0,38 m	„	6^0
„ „	„ . . .	0,51 m	„	5^0
„ „	„ . . .	0,64 m	„	4^0
„ „	„ . . .	0,77 m	„	3^0
„ „	„ . . .	0,90 m	„	2^0
„ „	„ . . .	1,03 m	„	1^0
„ „	über . . .	1,05 m	„	0^0
„ Glasfenster	(einfaches)			20^0
„ „	(doppeltes)			10^0
„ Holzthüren	(Aussenthüren)			2^0
„ Decken	(mit Füllung)			1^0
„ Innenwände	. . . . .			0^0

Der Leitungskoefficient l ist nach Valerius und Grashof zu setzen für:

ruhige, eingeschlossene Luft	4,
ruhige freie Luft	5,
bewegte freie Luft	6.

Der Strahlungskoefficient s ist der Tabelle 10 zu entnehmen; sofern feststehende Werthe nicht gegeben werden konnten, also in der Tabelle nicht enthalten sind, muss man leider nach Koefficienten ähnlicher Körper schätzungsweise Annahmen machen. Bei der Wahl ist auch zu berücksichtigen, ob sich an der Wand Wasser niederschlagen wird (z. B. Schweisswasser bei Glas, Regen bei Oberlichten u. s. w.), alsdann ist für s der (höhere) Werth für Wasser anzunehmen.

Da die Bauweise in der Praxis sehr verschiedenartig ist und da naturgemäss nicht vor jeder Transmissionsberechnung erst eine genaue Bestimmung der Transmissionskoefficienten vorgenommen werden kann, so muss man, wie bereits erwähnt, um zu allgemein verwendbaren Koefficienten zu gelangen, diesen die ungünstigsten Verhältnisse, also auch die ungünstigsten Bauverhältnisse zu Grunde legen. Auch bei Anwendung der Koefficienten hat man auf einen Ausgleich unberechenbarer Einflüsse Rücksicht zu nehmen, z. B. wird man bei einem Fenster, das aus Glas und Rahmen besteht, versuchen müssen, die nie zu vermeidenden Undichtheiten der Fensterfugen dadurch auszugleichen, dass man den Rahmen als Glasfläche mit in Rechnung stellt, also die im Mauerwerke für das Fenster gelassene Oeffnung als die in Rechnung zu stellende Fensterglasfläche ansieht. Die Folge der Berücksichtigung der ungünstigsten Verhältnisse ist, dass in der Praxis meist zu reichlich gerechnet wird, was, da der Effekt der Anlage dadurch grössere Sicherheit gewinnt, als ein nachtheiliger Fehler nicht bezeichnet werden kann. Doch kommt auch das Gegen-

Digitized by Google

theil vor, wenn der ausführende Ingenieur bei besonders ungünstigen Verhältnissen diese ausser Acht lässt und mit den einmal bestimmten Koefficienten nach der Schablone arbeitet (s. S. 142).

Tabelle 12 enthält eine grosse Anzahl von Transmissionskoefficienten, die unter Berücksichtigung der gewöhnlichen Bauverhältnisse und Temperaturen festgestellt worden sind. Bezüglich der Berechnung derselben wird auch auf die nachfolgenden Beispiele verwiesen.

3. Beispiele für Bestimmung von Transmissionskoefficienten.

Beispiel 1. Transmissionskoefficient einer Aussenwand

α) Aussen: Backsteinrohbau, innen: Putz und Tapete (Fig. 24).

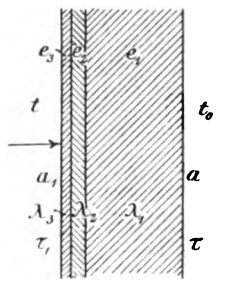


Fig. 24.

Es sei:

Stärke der Mauer $e_1 = 0{,}51$ m,
„ des Putzes $e_2 = 0{,}01$ m,
„ der Tapete $e_3 = 0{,}0001$ m.

Für Aussenluft ist zu setzen (ungünstigster Fall) $l = 6$,
„ Innenluft „ „ „ $l = 4$.

Aus den Tabellen 10 und 11 ist zu entnehmen für:

Backstein und Mörtel $s = 3{,}6$, $\lambda = 0{,}69$,
Papier $s = 3{,}8$, $\lambda = 0{,}034$.

Nach gemachten Angaben nehme man bei einer Mauer von 0,51 m schätzungsweise $\Delta - \Delta_1$, d. h. $\tau - t_0$ und $t - \tau_1 = 5$.

Alsdann ist nach dem Ausdrucke 102:

$$a = 6 + 3{,}6 + (0{,}0075 \cdot 6 + 0{,}0056 \cdot 3{,}6)\,5 = 9{,}93,$$
$$a_1 = 4 + 3{,}8 + (0{,}0075 \cdot 4 + 0{,}0056 \cdot 3{,}8)\,5 = 8{,}10,$$

somit wird nach Gl. 99:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{9{,}926} + \frac{1}{8{,}056} + \frac{0{,}51 + 0{,}01}{0{,}69} + \frac{0{,}0001}{0{,}034} = 0{,}98,$$

also:

$$k = 1{,}02.$$

β) Wie unter *α*, nur soll die Mauer eine Luftschicht erhalten (Fig. 25).

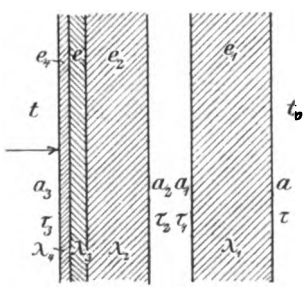


Fig. 25.

Es ist also:

$e_1 = 0{,}25$ m, $\lambda_1 = 0{,}69$,
$e_2 = 0{,}25$ m, $\lambda_2 = 0{,}69$,
$e_3 = 0{,}01$ m, $\lambda_3 = 0{,}69$,
$e_4 = 0{,}0001$ m, $\lambda_4 = 0{,}034$.

Für $t = +20^0$ und $t_0 = -20^0$ soll nach Früherem $\tau - t_0 = t - \tau_3 = 5^0$ sein, also ist: $\tau = -20 - (-5) = -15^0$ und $\tau_3 = +20 - 5 = 15^0$ anzunehmen. Da die Luftschicht in der Mitte der Mauer liegt, wird die Luft in derselben zu 0^0 anzunehmen sein und soll der Sicherheit halber τ_2 5^0 höher, τ_1 5^0 tiefer in Ansatz gebracht werden, so dass ist:

Digitized by Google

a (wie im vorigen Beispiele) $= 9{,}93$,
$a_1 = a_2 = 4 + 3{,}6 + (0{,}0075 \cdot 4 + 0{,}0056 \cdot 3{,}6) = 7{,}90$,
a_3 (wie im vorigen Beispiele a_1) $= 8{,}10$,

somit nach Gl. 99 bezw. 100:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{9{,}93} + \frac{2}{7{,}9} + \frac{2 \cdot 0{,}25 + 0{,}01}{0{,}69} + \frac{0{,}0001}{0{,}034} = 1{,}22,$$

also:

$$k = 0{,}82.$$

Beispiel 2. Transmissionskoefficient eines Aussenfensters (Fig. 26).

a) Einfaches Glas von 0,002 m Stärke, grosses Fenster.

Für Aussenluft ist wieder zu setzen . . . . . $l = 6$,
„ Innenluft (wegen lebhafter Bewegung der Luft infolge der Abkühlung am Fenster). . . . $l = 5$.

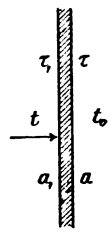


Fig. 26.

Für Glas ist $s = 2{,}91$, für Wasser (Innenfläche des Fensters infolge möglichen Schweisswassers) 5,3. Für Glas ist $\lambda = 0{,}8$, ferner

$$\tau - t_0 = t - \tau_1 = 20^0.$$

Alsdann ist:

$$a = 6 + 2{,}91 + (0{,}0075 \cdot 6 + 0{,}0056 \cdot 2{,}91)\,20 = 10{,}14,$$
$$a_1 = 5 + 5{,}3 + (0{,}0075 \cdot 5 + 0{,}0056 \cdot 5{,}3)\,20 = 11{,}64,$$

somit:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{10{,}14} + \frac{1}{11{,}64} + \frac{0{,}002}{0{,}8} = 0{,}19,$$

also:

$$k = 5{,}30.$$

β) Doppeltes Glas senkrecht stehend von je 0,002 m Stärke (Fig. 27).

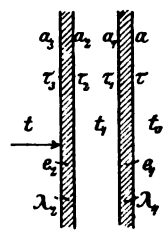


Fig. 27.

Für Aussenluft ist zu setzen $l = 6$,
„ Innenluft „ „ „ $l = 4$,
„ Zwischenluft „ „ „ $l = 5$.

Bei Doppelfenster ist s für aussen und innen $= 2{,}91$,

$$\tau - t_0 = t_1 - \tau_1 = \tau_2 - t_1 = t - \tau_2 = 10^0.$$

Alsdann ist:

$$a = 6 + 2{,}91 + (0{,}0075 \cdot 6 + 0{,}0056 \cdot 2{,}91)\,10 = 9{,}52,$$
$$a_1 = a_2 = 5 + 2{,}91 + (0{,}0075 \cdot 5 + 0{,}0056 \cdot 2{,}91)\,10 = 8{,}45,$$
$$a_3 = 4 + 2{,}91 + (0{,}0075 \cdot 4 + 0{,}0056 \cdot 2{,}91)\,10 = 7{,}37,$$

also nach Gl. 100:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{9{,}52} + \frac{2}{8{,}45} + \frac{1}{7{,}37} + \frac{2 \cdot 0{,}002}{0{,}8} = 0{,}48,$$

und

$$k = 2{,}08.$$

Sofern das Innenfenster nicht dicht schliesst und an der Innenfläche des Aussenfensters sich Schweisswasser bilden kann, was anzunehmen gerathen ist, ergiebt sich

$$k = 2{,}20.$$

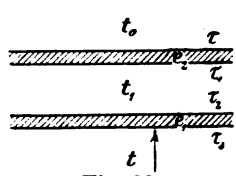


Fig. 28.

γ) Doppeltes Glas; das untere liegt horizontal, das obere horizontal oder geneigt (Oberlicht), (Fig. 28).

Alle Werthe können wie unter β angenommen werden,

Digitized by Google

nur ist bei $+20^0$ im Raume als ungünstigste Temperatur unter der Decke $+30^0$ in Rechnung zu ziehen und dementsprechend

$$\tau - t_0 = t_1 - \tau_1 = \tau_2 - t_1 = t - \tau_3 = 12{,}5$$

zu setzen.

Es ergiebt sich dann

$$k = 2{,}11 \quad \begin{matrix}\text{bezw. bei der Möglichkeit, dass sich Schweiss-} \\ \text{wasser an dem Aussenfenster abschlagen kann}\end{matrix} \quad 2{,}55.$$

δ) Doppeltes Glas; horizontal, darüber Dachboden mit Oberlicht. In diesem Falle ist etwa zu setzen:

$$t = 30^0, \quad t_0 = -10^0, \quad \tau - t_0 = t_1 - \tau_1 = \tau_2 - t_1 = t - \tau_3 = 10,$$

alsdann ist:

$$a = a_3 \text{ (wie } a_3 \text{ unter } \beta) = 7{,}37,$$
$$a_1 = a_2 \text{ (wie } a_1 \text{ bezw. } a_2 \text{ unter } \beta) = 8{,}45,$$

also:

$$\frac{1}{k} = 0{,}478, \quad k = 2{,}10.$$

ε) Doppelglasfenster (einfacher Rahmen mit doppelten Scheiben).

Da bei Bestimmung der Wärmeverluste eines Fensters zum Ausgleiche der Undichtheiten der Fensterfugen die totale Fläche, also auch der Rahmen als aus Glas bestehend angenommen wird, so ist der Unterschied zwischen einem einfachen Fenster und einem Doppelglasfenster, da dieser lediglich in dem einfachen bezw. doppelten Rahmen besteht, nach der bisherigen Berechnungsweise nicht zu bestimmen. Es soll daher folgendes Verfahren eingeschlagen werden. Setzt man die gesammte Fensterfläche $= 1$ und bezeichnet den Theil, den das Glas an derselben nimmt mit m (m ist also ein echter Bruch), den Koefficienten für einfaches Glas mit k_1, für Doppelglas mit k_2, für einen einfachen Rahmen mit k_3, den gesuchten Koefficienten für ein Doppelglasfenster mit k und den Antheil, den die Fensterfugen am Wärmeverluste haben mit A, so muss für 1^0 Temperaturunterschied die Summe der Wärmeverluste durch den Rahmen, das Glas und die Undichtheit der Fensterfugen gleich sein den Wärmeverlusten durch die gesammte Fensterfläche, es müssen also für ein einfaches und ein gleich grosses Doppelglasfenster die beiden Gleichungen gelten:

$$m k_1 + (1 - m) k_3 + A = k_1,$$
$$m k_2 + (1 - m) k_3 + A = k.$$

Subtrahirt man die untere Gleichung von der oberen, so erhält man:

$$k = k_1 - m (k_1 - k_2). \qquad (104)$$

Beträgt z. B. die Glasfläche $^3/_4$ der gesammten Fensteröffnung, so ist $m = 0{,}75$, beträgt ferner der Transmissionskoefficient für einfaches Glas 5, für Doppelglas (ohne Niederschlag von Schweisswasser) 2,08, so ist für ein Doppelglasfenster zu setzen:

$$k = 5 - 0{,}75 (5 - 2{,}08) = 2{,}81.$$

Beispiel 3. Transmissionskoefficient einer Decke (bezw. eines Fussbodens. Fussboden: Eichenholz, gewachst, darunter Blendboden. Füllmaterial: Koks, gestossen, darunter Luftschicht. Decke geschalt und geputzt.

Bei verschieden konstruirten Körpern, die zu einem Ganzen vereinigt sind, muss ein jeder für sich berechnet und der Gesammt-Transmissionskoefficient nach dem Verhältnisse, in welchem die Theil-Transmissionskoefficienten zu diesem stehen, bestimmt werden.

Digitized by Google

Ist die Balkenbreite m, die Entfernung zwischen den Balken n, der Trans-

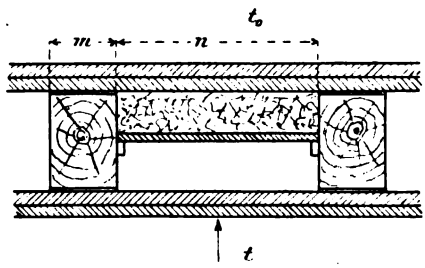


Fig. 29.

missionskoefficient des Balkentheils k_1, des anderen k_2, der Gesammt-Transmissionskoefficient k, dann muss sein:

$$k = \frac{m k_1 + n k_2}{m + n}.$$

a) Die wärmere Luft befindet sich unter der Decke. Es sei für die Balkenanordnung nach Fig. 30:

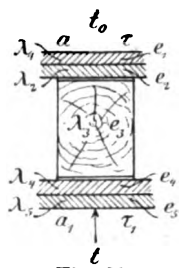


Fig. 30.

$$\begin{aligned} e_1 &= 0{,}025, \quad \lambda_1 = 0{,}211, \\ e_2 &= 0{,}025, \quad \lambda_2 = 0{,}093, \\ e_3 &= 0{,}24, \quad \lambda_3 = 0{,}093, \\ e_4 &= 0{,}020, \quad \lambda_4 = 0{,}093, \\ e_5 &= 0{,}015, \quad \lambda_5 = 0{,}69. \end{aligned}$$

Der Strahlungskoefficient für Wachs ist nicht bekannt, daher zu schätzen, er möge als zwischen Glas und Oelanstrich liegend zu 3,2 angenommen werden. Für Putz ist $s = 3{,}6$.

Es ist alsdann, da $l = 4$ und $\tau - t_0 = t - \tau_1 = 1$ zu setzen ist:

$$\begin{aligned} a &= 4 + 3{,}2 + (0{,}0075 \cdot 4 + 0{,}0056 \cdot 3{,}2)\,1 = 7{,}25, \\ a_1 &= 4 + 3{,}6 + (0{,}0075 \cdot 4 + 0{,}0056 \cdot 3{,}6)\,1 = 7{,}65, \end{aligned}$$

daher:

$$\frac{1}{k_1} = \frac{1}{7{,}25} + \frac{1}{7{,}65} + \frac{0{,}025}{0{,}211} + \frac{0{,}025 + 0{,}24 + 0{,}020}{0{,}093} + \frac{0{,}015}{0{,}69} = 3{,}47,$$

und somit

$$k_1 = 0{,}288.$$

Für den Balkenzwischenraum (Fig. 31) ist:

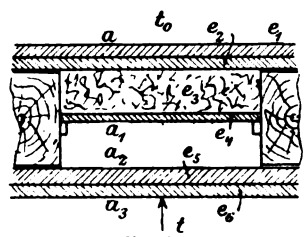


Fig. 31.

$$\begin{aligned} e_1 &= 0{,}025, \quad \lambda_1 = 0{,}211, \\ e_2 &= 0{,}025, \quad \lambda_2 = 0{,}093, \\ e_3 &= 0{,}105, \quad \lambda_3 = 0{,}16, \\ e_4 &= 0{,}015, \quad \lambda_4 = 0{,}093, \\ e_5 &= 0{,}020, \quad \lambda_5 = 0{,}093, \\ e_6 &= 0{,}015, \quad \lambda_6 = 0{,}69. \end{aligned}$$

Es ergiebt sich:

$$\begin{aligned} a \text{ (wie früher)} &= 7{,}25, \\ a_1 = a_2 &= 4 + 3{,}6 + (0{,}0075 \cdot 4 + 0{,}0056 \cdot 3{,}6)\,1 = 7{,}65, \\ a_3 \text{ (wie früher } a_1) &= 7{,}65, \end{aligned}$$

daher:

$$\frac{1}{k_2} = \frac{1}{7{,}25} + \frac{3}{7{,}65} + \frac{0{,}025}{0{,}211} + \frac{0{,}025 + 0{,}015 + 0{,}020}{0{,}093} + \frac{0{,}105}{0{,}16} + \frac{0{,}015}{0{,}69} = 1{,}97,$$

Digitized by Google

also: $k_2 = 0{,}508.$

Der Gesammt-Transmissionskoefficient ergiebt sich somit:

$$k = \frac{0{,}288\,m + 0{,}508\,n}{m+n}.$$

Für $m = 0{,}2$ m, $n = 0{,}8$ m ist alsdann:

$$k = 0{,}41,$$

für $m = 0{,}2$ m, $n = 0{,}9$ m dagegen

$$k = 0{,}52.$$

β) Die wärmere Luft befindet sich über Fussboden. k_1 behält den Werth wie unter α, da zur Bestimmung desselben der gleiche Ausdruck zur Anwendung zu bringen ist. Für den Balkenzwischenraum dagegen hat eine Gleichung gemäss der Gl. 101 in Benutzung zu kommen, da in der Luftschicht keine Bewegung, also Wärmeüberleitung, anzunehmen ist. Nach Fig. 32 ergiebt sich, da

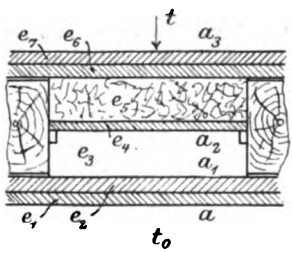


Fig. 32.

$$e_1 = 0{,}015, \quad \lambda_1 = 0{,}69,$$
$$e_2 = 0{,}020, \quad \lambda_2 = 0{,}093,$$
$$e_3 = 0{,}120, \quad \lambda_3 = 0{,}04,$$
$$e_4 = 0{,}015, \quad \lambda_4 = 0{,}093,$$
$$e_5 = 0{,}105, \quad \lambda_5 = 0{,}16,$$
$$e_6 = 0{,}025, \quad \lambda_6 = 0{,}093,$$
$$e_7 = 0{,}025, \quad \lambda_7 = 0{,}211,$$

$$\frac{1}{k_2} = \frac{3}{7{,}65} + \frac{1}{7{,}25} + \frac{0{,}015}{0{,}69} + \frac{0{,}020 + 0{,}015 + 0{,}025}{0{,}093} + \frac{0{,}120}{0{,}1} + \frac{0{,}105}{0{,}16} + \frac{0{,}025}{0{,}211} = 3{,}17,$$

daher: $k_2 = 0{,}315.$

Für $m = 0{,}2$ m, $n = 0{,}8$ m wird alsdann:

$$k = 0{,}31,$$

dagegen für $m = 0{,}2$ m, $n = 0{,}9$ m:

$$k = 0{,}34.$$

4. Bestimmung der Aussentemperatur.

Unter Aussentemperatur ist, wie bereits angedeutet, nicht allein die Temperatur der das Gebäude umgebenden Aussenluft zu verstehen, sondern auch diejenige Temperatur, der Wände, Thüren, Decken u. s. w., sofern sie zwischen zwei Räumen liegen, auf der Wärme abgebenden Seite ausgesetzt sind.

a) Temperatur der das Gebäude umgebenden Aussenluft. Für diese ist die niedrigste Temperatur zu wählen, bis zu der die volle Erwärmung des Raumes erzielt werden soll. Sie ist für Deutschland sehr verschieden*) anzunehmen, je nach der geographischen Lage des Ortes. In der Praxis setzt man zur Zeit noch allgemein und sehr sicher für:

Mittel- und Süd-Deutschland . . . . . -20^0,
Nord-Deutschland . . . . . -25^0.

*) S. Marx, die Temperaturverhältnisse Deutschlands. Ges.-Ing. 1902, Heft 1.

Digitized by Google

b) Temperatur eines neben erwärmten Räumen liegenden und nicht mit Heizung versehenen Raumes. Sofern die einzuhaltende Temperatur aller Räume gegeben wird, so ist auch für jede Scheidewand, Zwischendecke u. s. w. der Werth von $t - t_0$ bekannt; es ist daher nur die Bestimmung der Temperatur nicht erwärmter Nebenräume von Wichtigkeit.

Diese Temperatur darf in den meisten Fällen nach Schätzung angenommen werden; sie wird für den ungünstigsten Fall etwa betragen:

bei unbeheizten und geschlossenen aber zwischen erwärmten Räumen liegenden Räumen . . . . . $+ 5^0$,
bei unbeheizten und geschlossenen im Keller oder nur einseitig neben erwärmten Räumen liegenden Räumen . . . . . $\pm 0^0$,
bei unbeheizten, öfter mit der Aussenluft in Verbindung stehenden Räumen (Durchfahrten, Vorhallen, Vorfluren u. s. w.), sowie bei Dachböden mit Holzcementdächern . . . . . $- 5^0$,
bei Dachböden, die mit Ziegel oder Schiefer gedeckt sind . . . . . -10^0.

Mitunter wird sich indess eine Berechnung einer Temperatur eines unbeheizten Nebenraumes nöthig erweisen, z. B. wenn die Bedingung besteht, dass ein Raum nur dann zu erwärmen ist, falls die Wärmeabgabe der angrenzenden Räume nicht ausreicht, ihm eine bestimmte Temperatur zu sichern.

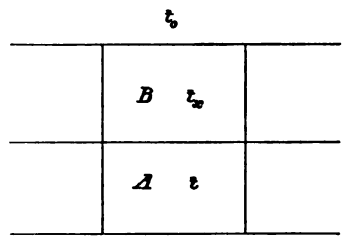


Fig. 33.

Es sei Raum A (s. Fig. 33) auf t^0 erwärmt, Raum B, der ausschliesslich von A Wärme vermittels Transmission erhalten soll, unbeheizt; Temperatur in demselben t_x, Aussentemperatur t_0.

Bezeichnet $\Sigma\{Fk(t-t_x)\}$ die gesammte Wärmemenge, die Raum A an B im Beharrungszustande abgiebt, $\Sigma\{F_0 k_0 (t_x - t_0)\}$ diejenige, welche Raum B nach aussen transmittirt, so muss sein:

$$\Sigma\{Fk(t-t_x)\} = \Sigma\{F_0 k_0 (t_x - t_0)\},$$

also:

$$t_x = \frac{\Sigma(Fkt) + \Sigma(F_0 k_0 t_0)}{\Sigma(Fk) + \Sigma(F_0 k_0)}. \qquad (105)$$

5. Bestimmung der Innentemperatur.

Die in einem erwärmten Raume zu fordernden Temperaturen sind bereits auf Seite 40 angegeben. Diese Temperaturen verstehen

Digitized by Google

sich für die Luft in der unmittelbaren Umgebung der Anwesenden. An der Decke herrschen höhere Temperaturen, auch diese haben bereits auf Seite 40 Erörterung gefunden. Es war die Temperatur an der Decke bis zu etwa $+ 10^0$ Aussentemperatur zu setzen (Gl. 21a):

$$t'' = t + 0{,}1\, t(h - 3).$$

Naturgemäss werden die hierdurch erhaltenen Werthe nicht immer mit der Wirklichkeit übereinstimmen. Bei besonderen Verhältnissen ist daher t'' entsprechend anzunehmen, in den meisten Fällen der Praxis wird indess mit den nach obigem Ausdrucke berechneten Werthen auszukommen sein. Bei senkrechten Flächen ist für die Temperatur t in Gl. 97 die mittlere zwischen unten und oben in Rechnung zu setzen. Für die Praxis genügt es, bei Wänden und Fenstern die mittlere zwischen Fussboden und Decke, bei Thüren und Fussböden aber die in Körperhöhe verlangte einzuführen.

6. Sicherheitszuschläge.

Für Bestimmung der Wärmeverluste eines Raumes sind die Einflüsse des Wetters und der Himmelsrichtung nicht berücksichtigt worden; dieselben entziehen sich der Berechnung und sind daher Erfahrungszuschläge zu machen. Der Praxis entsprechend empfiehlt es sich, den ausgerechneten Wärmeverlusten von Wänden, Fenstern und Thüren, die nach Norden, Osten, Nordosten und Nordwesten liegen, einen Zuschlag von $10\,\%$ und ausserdem noch einen gleichen Zuschlag den Wärmeverlusten derjenigen Wände, Fenster und Thüren zu geben, die dem Windanfalle besonders ausgesetzt sind.

III. Wärmemenge, die vor dem Beharrungszustande der Erwärmung eines Raumes (Anheizdauer) durch die Wärme-Aufnahme der Umschliessungskörper verloren geht (Wärme-Absorption).

Die Berechnung der Wärme-Absorption stösst z. Z. noch auf unüberwindliche Schwierigkeit, es ist daher für alle diese Fälle die Erfahrung zu Hilfe zu nehmen.*)

Da die Wärme-Aufnahme der Wände u. s. w. zu ihrer Eigenerwärmung um so grösser ist, je grösser der Temperaturunterschied

*) S. a. G. Recknagel, über Abkühlung geschlossener Lufträume durch Wärmeleitung und über Erwärmung geschlossener Lufträume. Sitzungsbericht der math.-phys. Klasse der Kgl. bayer. Akademie der Wissenschaftea. Bd. XXXI, 1901, Heft II. Die in dieser Abhandlung aufgestellte Theorie kann möglicherweise für die Praxis zu werthvollen Ergebnissen führen. Der Verfasser hat eine weitere eingehende Behandlung des Problems in Aussicht gestellt. S. a. Ges.-Ing. 1901, No. 17, S. 278 u. f.

Digitized by Google

zwischen den Wänden u. s. w. und der dieselben berührenden Luft sich gestaltet, so ist bis zur Erzielung des Beharrungszustandes bezüglich der Erwärmung eines Raumes (Anheizdauer) um so mehr Wärmezuführung durch den Heizkörper erforderlich, je kürzer die Betriebsunterbrechung der Heizung gedauert hat und je dicker die Wände des Raumes sind. Fälschlicherweise werden in der Praxis vielfach die Betriebsunterbrechungen nicht genügend berücksichtigt und z. B. Räume, deren Benutzungsdauer nur bis zum Nachmittage reicht, in gleicher Weise behandelt wie Räume, die bis zum späten Abende volle Erwärmung finden müssen.

1. Räume, die keine sehr bedeutende Grösse besitzen.

Für solche Räume kann, sofern sie nach ihrer Erwärmung längere Benutzung erfahren, das Wärme-Erforderniss für die meist nicht lang zu bemessende Anheizdauer durch geeignete Zuschläge zu der für den Beharrungszustand ermittelten Wärmetransmission gedeckt werden. Die Luft derartiger Räume erwärmt sich dann unter gleichzeitiger allmählicher Zunahme der Wandtemperaturen; die Abkühlung erfolgt entsprechend langsam. Diese Zuschläge Z zu der im Beharrungszustande stattfindenden Wärmetransmission eines Raumes können nach folgenden vom Verfasser auf empirischem Wege gefundenen, aber durch die Erfahrung vielfach bewährten Ausdrücken gesetzt werden

für Räume, die täglich, aber mit Betriebsunterbrechung während der Nacht, zu heizen sind:

$$Z = \frac{0{,}0625\,(n-1)\,W_1}{z}, \qquad (106)$$

für Räume, die nicht täglich zu heizen sind:

$$Z = \frac{0{,}1\,W(8+z)}{z}, \qquad (107)$$

sofern:

W_1 die stündlich im Beharrungszustande durch Transmission der Aussenwände und Fenster eines Raumes verloren gehende Wärmemenge (als Aussenwand ist z. B. auch eine Decke anzusehen, die unter dem ungewärmten Dachboden liegt),

W die gesammte stündliche Transmission des Raumes im Beharrungszustande,

n die Zeit von Beendigung der täglichen Benutzung des Raumes bis zum Beginne des Anheizens,

z die Anheizdauer in Stunden

bedeutet.

Grössere Zuschläge als etwa $^1/_3$ der Transmission des Raumes im Beharrungszustande (W) zu geben, ist infolge bedeutender Ver-

Digitized by Google

theuerung der Anlage nicht rathsam. In solchen Fällen soll die Anheizdauer entsprechend verlängert oder, was bei täglicher Benutzung der Räume noch besser ist, ununterbrochener Betrieb der Anlage vorgesehen werden.

n richtet sich nach der Benutzung der Räume; z. B. bei einer Anheizdauer von 3 Stunden und einem Beginne des Anheizens an den kältesten Wintertagen um 5 Uhr vormittags, wird man für Wohnräume $n = 7$ (10 Uhr nachmittags bis 5 Uhr vormittags), für Bureaux, Schulen u. s. w. $n = 12$ (5 Uhr nachmittags bis 5 Uhr vormittags) setzen können. Bei Festsälen, die ihrer geringen Grösse wegen nicht unter die im nächsten Abschnitte zu behandelnden Räume fallen, ist z zu etwa 5—6 anzunehmen.

2. Räume, die eine bedeutende Grösse besitzen, seltener und nur kurze Zeit benutzt werden (Kirchen, Hallen u. s. w.).

Für derartige Räume ist es rathsam, auf Erzielung des Beharrungszustandes überhaupt zu verzichten und durch Zuführung eines grösseren Wärme-Ueberschusses für kurze Zeit die Luft schneller als die Wände zu erwärmen, aber auch nach Betriebseinstellung der Heizung eine rasche Abkühlung der Räume zu gestatten.

Dem Gesagten zufolge findet eine Wärmetransmission mit Ausnahme bei den Fenstern überhaupt oder so gut wie gar nicht statt, die Wände werden sich nur mässig und nur bis auf eine gewisse Tiefe erwärmen. In solchen Fällen ist die Berechnung der erforderlichen Wärmemenge nach der Erfahrung zu bestimmen.

Bei Anwendung möglichst den Wärmeverlusten entsprechend vertheilter Heizfläche in den Räumen kann die erforderliche stündliche Wärmemenge gesetzt werden:

$$W = \frac{F k (t - t_0)}{2} + F_1 \left(23 + \frac{5 (t - t_1)}{z} \right). \qquad (108)^*)$$

Bei Anwendung von Luftheizung zur Erwärmung der Räume und bei einer Heizungsanlage, die eine möglichst den Wärmeverlusten entsprechend vertheilte Heizfläche nicht gestattet, ist die erforderliche stündliche Wärmemenge zu setzen:

$$W = \frac{F k (t - t_0)}{2} + F_1 \left(40 + \frac{10 (t - t_1)}{z} \right). \qquad (109)$$

In den Ausdrücken bedeutet:

*) Gl. 108 und 109 sind von mir unter Zuhülfenahme der Betriebsergebnisse von etwa 25 Kirchenheizungen aufgestellt worden. Die Betriebsergebnisse verdanke ich vorwiegend der Freundlichkeit der Firmen E. Kelling und Rud. Otto Meyer. Die Gleichungen sind inzwischen vielfach von der Praxis benutzt worden und haben sich nach den mir gewordenen Mittheilungen bewährt. D. V.

Digitized by Google

F die Fensterfläche in qm,
F_1 die Fläche sämmtlicher Wände, der Decke, des Fussbodens, der Säulen u. s. w. in qm,
k den Transmissionskoefficienten für Glas (k für einfaches Glas = 5,3),
t die verlangte Innentemperatur,
t_1 die Anfangstemperatur beim Anheizen (etwa zu 0^0 anzunehmen),
t_0 die niedrigste äussere Temperatur,
z die Anheizdauer in Stunden.

Bei einer Raumhöhe über 12 m ist bei Luftheizung (auch Kanalheizung) für jedes weitere Meter zu der berechneten Wärmemenge ein Zuschlag von $5\,\%$ zu geben.

Die vorstehenden Gleichungen berücksichtigen zwar die durch die Art der Baumaterialien bedingte Durchlässigkeit, setzen aber naturgemäss eine gute Bauausführnng bezw. eine gute Erhaltung des Bauwerks (ganze Fensterscheiben, keine Deckendurchbrüche und offene Deckenfugen u. s. w.) voraus.

Je kürzer die Anheizdauer z gewählt wird, um so geringere Wärmemengen werden die Wände innerhalb dieser Zeit aufgenommen haben und um so lebhaftere Luftbewegung wird in dem Raume herrschen. Da bei einer sachverständigen Anlage nicht allein innerhalb der bedungenen Zeit die geforderten Wärmegrade erzielt, sondern auch Zugerscheinungen möglichst vermieden werden müssen, ist es wünschenswerth, den Beharrungszustand der Erwärmung der Raumluft möglichst rasch zu erzielen, also die Anheizdauer nicht zu lang zu bemessen, denselben aber bereits mehrere Stunden vor Benutzung des Raumes eintreten zu lassen. Da indess in der Praxis mit dem Anheizen vor der Benutzung des Raumes kaum eher begonnen wird, als die angegebene Anheizdauer beträgt, so empfiehlt es sich, die Anheizdauer für die Berechnung nicht zu lang anzunehmen (z. B. für Kirchen etwa 5—6 Stunden), für den Betrieb aber um einige Stunden länger vorzuschreiben.

IV. Berechnung der Wärmeverluste in der Praxis.

1. Aufstellung der Wärmeverluste.

Zur Berechnung der stündlichen Wärmetransmission nach der Gl. 96, $W = F k (t - t_0)$, sind zunächst die Fläche F des Abkühlungskörpers, die in Frage kommende Innen- und Aussentemperatur (s. S. 148 bis 150) zu bestimmen und der Transmissionskoefficient aus der für die Praxis aufgestellten Tabelle 12 zu entnehmen. Nach Ausrechnung des Werthes von W sind die erforderlichen Zuschläge für Witterungseinflüsse (s. S. 150) und bei Unterbrechung des Betriebs auch für

Digitized by Google

das Anheizen (s. S. 151) zu machen. Für Berechnung der erforderlichen Wärmemenge zur Beheizung von sehr grossen und selten benutzten Räumen ist nach den Angaben auf S. 152 zu verfahren.

Bezüglich der Berechnung der stündlichen Wärmetransmission dürfte die Fläche F bei den Wänden eines Raumes eigentlich nicht, wie meist in der Praxis, durch die Innenmafse des betreffenden Raumes bestimmt, sondern es sollte z. B. besser die Länge oder Breite eines Raumes von Mitte zu Mitte der Begrenzungswände, die Höhe von Mitte Fussboden bis Mitte Decke gemessen werden. Diese Berechnungsweise ist aber nicht bequem, liefert auch etwas zu hohe Werthe, es erscheint zweckmässig, die Länge und Breite des Raumes in Lichtmafsen, als Höhe aber die ganze Geschosshöhe, also von Fussboden zu Fussboden anzunehmen. Bei den Fenstern ist zum gleichzeitigen Ausgleiche von Undichtheiten für F die volle Fensterfläche einschliesslich Rahmen in Ansatz zu bringen.

Für Berechnung der Transmission einer Aussenwand ist zur Bestimmung der betreffenden Wandfläche zunächst von der durch Multiplikation der Länge mit der Stockwerkshöhe gefundenen Fläche diejenige der Fenster abzuziehen. Es empfiehlt sich daher, bei der Berechnung der Transmission eines Raumes zuerst mit den Fenstern und Thüren zu beginnen, dann mit den Wänden, Decken und Fussböden fortzufahren.

Zu Zwecken einer klaren Uebersichtlichkeit und schnellen Orientirung ist die Eintragung der einzelnen Abschnitte der Transmissionsberechnung in eine Tabelle erforderlich. In derselben sind der Einfachheit halber etwa folgende Abkürzungen für die Berechnung der verschiedenen Körper anzuwenden:

EF	für	Einfaches Fenster,
DF	„	Doppel-Fenster,
IT	„	Innenthür,
AT	„	Aussenthür,
AW	„	Aussenwand,
IW	„	Innenwand,
D	„	Decke,
FB	„	Fussboden.

Die Tabelle kann den nachstehenden Kopf erhalten:

Digitized by Google

Tabelle zur Berechnung der stündlichen Wärmeverluste durch Transmission.

No.	Raum: Bezeichnung	Raum: Länge m	Raum: Breite m	Raum: Höhe m	Raum: Inhalt cbm	Abkühlungsfläche: Bezeichnung	Himmelsgegend	Länge m	Höhe bezw. Breite m	Fläche qm	Anzahl	Abzuziehen qm	In Rechnung gestellt qm	Stärke der Wand m	Temperatur in Graden Celsius: Innen	Aussen	Unterschied	Transmissionskoefficient	Wärme-Einheiten WE	Zuschlag für Himmelsgegend	Summe der Wärme-Einheiten: Abgabe	Empfang	Summe der Wärme-Einheiten für ununterbrochenen Betrieb	Unterbrochener Betrieb: Zuschlag	Summe der Wärme-Einheiten	Bemerkungen
I.	Arbeitszimmer	7	5	4	140	*DF*	*N*	1,8	2,5	4,5	2	—	9	—	22	— 20	42	2,20	811,80	81,18	892,98			230,6		8stündige Anheizdauer, Benutzungszeit einschliesslich Anheizdauer 17 Stunden.
						AW	*N*	7	4,3	30,1	1	9 (Fenster)	21,1	0,64	21	— 20	41	1,0	865,10	86,51	951,61					
						IT	—	1,5	2,8	4,2	1	—	4,2	0,04	20	+ 16	4	1,44	24,19	—	24,19					
						IW	—	7	4,3	30,1	1	4,2 (Thür)	25,9	0,38	21	+ 17	4	1,2	124,32	—	124,32					
						IW	—	5	4,3	21,5	1	—	21,5	0,38	21	+7,5	13,5	1,2	348,30	—	348,30					
						D	—	5	7	35	1	—	35	0,3	22	— 10	32	0,48	527,60	—	537,60			67,2		
						FB	—	5	7	35	1	—	35	0,3	20	+ 22	— 2	0,43	—30,10	—	—	30,10				
																					2879,00	30,10	2848,9	297,8	3147	

Anmerkung. Das nachfolgende Beispiel ist zur Erläuterung vorstehender Tabelle in dieselbe aufgenommen worden.

Digitized by Google

2. Beispiel einer Wärmetransmissions-Berechnung und der Temperatur-Bestimmung eines unbeheizten Raumes.

Die Transmission des Raumes *I* (s. Fig. 34) und die Temperatur von *II*, der als unbeheizt anzunehmen ist, sollen bestimmt werden.

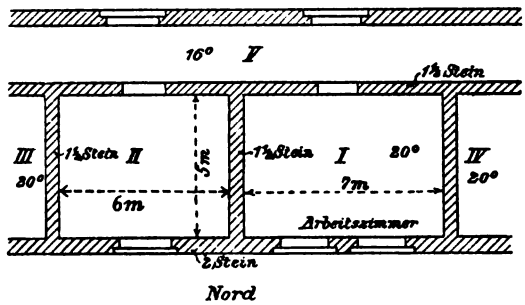


Fig. 34.

Die Geschosshöhe (von Fussboden zu Fussboden) betrage 4,3 m, die Deckenstärke 0,3 m, alle übrigen Maſse, sowie die Lage der Räume nach der Himmelsgegend gehen aus der Figur hervor. Ueber den Räumen liege der Dachboden; das Dach bestehe aus Schiefer. Gegeben ist:

Niedrigste Aussentemperatur . . . . . $-20°$,
Temperatur im Dachraume (s. S. 149) . . . . . $-10°$,
Temperatur in den Räumen *I*, *III* und *IV* . . . . . $+20°$,
Temperatur im Raume *V* . . . . . $+16°$.

Die Transmissionskoefficienten sind nach Massgabe der Ausführung und Wandstärken Tabelle 12 zu entnehmen; sie sollen betragen für:

Fenster (doppelte) . . . . . $k = 2{,}20$,
Thüren (innere) . . . . . $= 1{,}44$,
Aussenwände . . . . . $= 1{,}00$,
Innenwände . . . . . $= 1{,}20$,
Fussboden (Parkettdielung) . } da sich über beiden } $= 0{,}48$,
Decke (auf dem Dachboden } die kältere Luft be- }
einfache Holzdielung) . . } findet } $= 0{,}48$.

a) Temperaturbestimmung. *α*) Für die zu beheizenden Räume *I*, *III* und *IV*.

Temperatur am Fussboden . . . . . $20°$,
Temperatur unter Decke (s. Gl. 21a) $20 + 0{,}1 \cdot 20\,(4-3) = 22°$,
Mittlere Temperatur in den Räumen . . . . $\frac{20+22}{2} = 21°$.

β) Für den zu beheizenden Raum *V*.

Temperatur am Fussboden . . . . . $16°$,
Temperatur unter Decke . . . . $16 + 0{,}1 \cdot 16\,(4-3) \sim 18°$,
Mittlere Temperatur im Raume . . . . . $\frac{16+18}{2} = 17°$.

γ) Für den unbeheizten Raum *II*.

Temperatur am Fussboden . . . . . t_x,
Temperatur unter Decke . . . $t_x + 0{,}1\,t_x\,(4-3) = 1{,}1\,t_x$,
Mittlere Temperatur im Raume . . . $\frac{t_x + 1{,}1\,t_x}{2} = 1{,}05\,t_x$.

Digitized by Google

δ) Bestimmung von t_x. Der Raum *II* empfängt an Wärme (die Gleichung der Transmission lautet allgemein $W = Fk(t - t_0)$):

vom Raume *I* durch die Wand
$5 \cdot 4{,}3 \cdot 1{,}2 \ (21 - 1{,}05\,t_x) = 541{,}80 - 27{,}09\,t_x$,

„ „ *III* „ die Wand
$5 \cdot 4{,}3 \cdot 1{,}2 \ (21 - 1{,}05\,t_x) = 541{,}80 - 27{,}09\,t_x$,

„ „ *V* „ die Thür
$1{,}5 \cdot 2{,}8 \cdot 1{,}44\,(16 - t_x) = 96{,}77 - 6{,}05\,t_x$,

„ „ *V* „ die Wand
$(6 \cdot 4{,}3 - 1{,}5 \cdot 2{,}8)\,1{,}2 \ (17 - 1{,}05\,t_x) = 440{,}64 - 27{,}22\,t_x$,

„ darunter liegenden Raume durch den Fussboden . . . . . $5 \cdot 6 \cdot 0{,}43\,(22 - t_x) = 283{,}80 - 12{,}90\,t_x$,

Sa. $1904{,}81 - 100{,}35\,t_x$.

Der Raum *II* giebt Wärme ab:

durch das Fenster $2{,}5 \cdot 1{,}8 \cdot 2{,}20 \left\{1{,}05\,t_x - (-20)\right\} = 10{,}40\,t_x + 198{,}00$,

10% Zuschlag wegen der Lage nach Norden $= 1{,}04\,t_x + 19{,}80$,

„ die Aussenwand $(6 \cdot 4{,}3 - 2{,}5 \cdot 1{,}8)\,1{,}0 \left\{1{,}05\,t_x - (-20)\right\} = 22{,}37\,t_x + 426{,}00$,

10% Zuschlag wegen Lage nach Norden $= 2{,}24\,t_x + 42{,}60$,

„ „ Decke . . . . . $5 \cdot 6 \cdot 0{,}48 \left\{1{,}1\,t_x - (-10)\right\} = 15{,}48\,t_x + 144{,}00$,

Sa. $51{,}93\,t_x + 830{,}40$.

Die empfangene Wärmemenge muss im Beharrungszustande gleich der abgegebenen Wärmemenge sein, also besteht die Gleichung:

$$1904{,}81 - 100{,}35\,t_x = 51{,}93\,t_x + 830{,}40,$$

aus welcher folgt:

$$t_x = \frac{1074{,}41}{152{,}28} = 7{,}67,$$

welcher Werth nach unten auf 7° abgerundet wird. Es ist mithin im Raume *II*:

Temperatur am Fussboden . . . . . 7°,
Temperatur unter Decke . . . . . $7{,}7° \sim 8°$,
Mittlere Temperatur . . . . . $\frac{7+8}{2} = 7{,}5°$.

b) Transmissionsberechnung für Raum *I*.

Raum *I* giebt ab:

durch die Fenster . . . . . $2 \cdot 2{,}5 \cdot 1{,}8 \cdot 2{,}20 \left\{22 - (-20)\right\} = 811{,}80$,

10% Zuschlag wegen Lage nach Norden . . . $= 81{,}18$,

„ „ Aussenwand . . $(7 \cdot 4{,}3 - 2 \cdot 2{,}5 \cdot 1{,}8)\,1{,}0 \left\{21 - (-20)\right\} = 865{,}10$,

10% Zuschlag wegen Lage nach Norden . . . $= 86{,}51$,

„ „ Thür (nach Raum *V*) . . . . . $1{,}5 \cdot 2{,}8 \cdot 1{,}44\,(20 - 16) = 24{,}19$,

„ „ Innenwand (nach Raum *V*) $(7 \cdot 4{,}3 - 1{,}5 \cdot 2{,}8)\,1{,}2\,(21 - 17) = 124{,}32$,

„ „ Innenwand (nach Raum *II*) . . . . $5 \cdot 4{,}3 \cdot 1{,}2\,(21 - 7{,}5) = 348{,}30$,

„ „ Decke . . . . . $5 \cdot 7 \cdot 0{,}48 \left\{22 - (-10)\right\} = 537{,}60$,

Sa. 2879,00.

Raum *II* empfängt:

durch den Fussboden . . . . . $5 \cdot 7 \cdot 0{,}43\,(22 - 20) = 30{,}10$,

Ständlich in Rechnung zu stellende Transmission für ununterbrochenen Betrieb . . . . . 2848,90 *WE*.

Digitized by Google

Wird nicht ununterbrochen, sondern nur am Tage geheizt, so ist bei 3 Stunden Anheizdauer (von 5—8 Uhr) und 14 Stunden Benutzungsdauer der Räume (8 Uhr vormittags bis 10 Uhr nachmittags) n in Gl. 106 $= 24 - 17 = 7$ zu setzen und werden die vorstehend berechneten Wärmemengen eine Erhöhung erfahren müssen, in Form eines Zuschlags auf die Wärmetransmission der Fenster, der Aussenwand und — da im vorliegenden Falle die Decke als eine nach aussen transmittirende Fläche anzusehen ist — der Decke. Dieser Zuschlag beträgt nach Gl. 106:

$$Z = \frac{0{,}0625 \cdot 6 \cdot 2382{,}2}{3} = 297{,}8 \; WE.$$

Die Gesammtwärmemenge, welche die Heizung mithin in diesem Falle während einer Stunde der dreistündigen Anheizzeit zu ersetzen hat, beträgt alsdann

$$2848{,}9 + 297{,}8 = 3147 \; WE.$$

Bei einer Anheizdauer von 5—8 Uhr und 8 Stunden Benutzungsdauer der Räume (8 Uhr vormittags bis 4 Uhr nachmittags) wird $n = 24 - 11 = 13$ und somit der Zuschlag

$$A = \frac{0{,}0625 \cdot 12 \cdot 2382{,}2}{3} = 595{,}6 \; WE,$$

die Gesammtwärmemenge mithin:

$$2848{,}9 + 595{,}6 = 3445 \; WE$$

betragen.

Werden die Räume dagegen nur selten benutzt, so ist bei einer Anheizdauer von 3 Stunden (nach Gl. 107) ein Zuschlag von

$$A = \frac{0{,}1 \cdot 2848{,}9 \cdot 11}{3} = 1044{,}5 \; WE$$

zu machen, somit die Gesammtwärmemenge in der Stunde zu

$$2848{,}9 + 1044{,}5 = 3394 \; WE$$

anzunehmmen.

Neuntes Kapitel.

Ueber Heizungsanlagen im Allgemeinen.

Unter Heizungsanlagen werden in der Folge diejenigen Anlagen verstanden, deren Aufgabe es ist, die einem Raume (oder mehreren Räumen) von bestimmter Temperatur in der Zeiteinheit durch Transmission bezw. Absorption der Umschliessungskörper verloren gehende Wärmemenge zu ersetzen. Bei jeder Heizungsanlage müssen somit Einrichtungen zur Erzeugung der Wärme und zur Abgabe der Wärme an die Raumluft vorhanden sein.

Die Erzeugung der Wärme erfolgt fast ausschliesslich auf chemischem Wege durch Verbrennen von Brennstoffen, für welchen Zweck eine Feuerungsanlage und ein Wärmerecipient erforderlich werden.

Digitized by Google

Die Erzeugung der Wärme auf elektrischem Wege kommt zur Zeit der sehr hohen Kosten halber nur in einzelnen und äusserst seltenen Fällen in Frage, derentwegen auf die einschlägliche Litteratur zu verweisen ist.

Die Abgabe der Wärme an die Luft geschieht entweder durch Strahlung oder durch Leitung oder durch Strahlung und Leitung gemeinsam, und zwar entweder unmittelbar vom Brennstoffe (Heizung durch offnes Feuer, Kaminheiznng) oder mittelbar nach Ueberleitung der Wärme auf ein geeignetes Material. Die mittelbare Wärmeabgabe an die Luft kann in letzterem Falle ohne weitere Zwischenstufen (Ofenheizung, Luftheizung) oder infolge eines erforderlichen Ferntransports der Wärme mittels geeigneter Träger (Wasser, Dampf) erst nach zum Theil mehrfacher Uebertragung auf andere Körper vor sich gehen.

Die vollkommenste Heizungsanlage würde diejenige sein, die an jeder Stelle eines Wärmeverlustes einen gleich grossen Wärmeersatz zu liefern im Stande wäre. Da jedoch die Wärmezufuhr nur an einzelnen Stellen eines Raumes stattfinden kann, so ist zur Wärmevertheilung Luftbewegung erfoderlich. Die Luft hat die Umschliessungswände des Raumes zu erwärmen. Je geringer der Temperaturunterschied zwischen der Luft und den Wänden einerseits und den Heizkörpern und der Luft andererseits ist, je gleichmässiger wird sich die Wärmevertheilung gestalten. Richtiger würde es sein, die Wände zu erwärmen und durch diese die Luft des Raumes. Bei Erwärmung der Räume ausschliesslich durch strahlende Wärme wird zwar zunächst eine Wanderwärmung und durch diese erst die Lufterwärmung hervorgerufen, doch kann diese Erwärmungsweise nur in Ausnahmefällen in Benutzung treten und — abgesehen von ungünstigen Betriebsverhältnissen — infolge des Umstandes, dass die in dem Raume sich aufhaltenden Personen ebenfalls von der strahlenden Wärme getroffen werden und sich demzufolge grossen Temperaturunterschieden aussetzen müssen und dass die Wirkung der strahlenden Wärme im Quadrate der Entfernung abnimmt, nur in seltenen Fällen empfohlen werden.

I. Feuerungsanlage und Heizfläche zur Wärmeaufnahme (Wärmerecipient).

Die Feuerungsanlagen haben bereits im VII. Kapitel unter Abschnitt II: Verbrennung und Wärme-Entwicklung Besprechung erfahren.

Bezüglich der Wärmerecipienten ist allgemein das Nachfolgende zu beachten, während das Einzelne an der betreffenden Stelle der verschiedenen Heizungsanlagen Besprechung finden wird.

Die Grösse der Heizfläche ist neben ihrer Gestaltung und materiellen Beschaffenheit ausschlaggebend für die Ausnutzung der in den

Digitized by Google

Verbrennungsgasen enthaltenen Wärme. Wird die Heizfläche gegenüber der aufzunehmenden Wärmemenge klein bemessen, so müssen die Verbrennungsgase mit entsprechend hoher Temperatur nach dem Schornsteine entweichen; die Anlage arbeitet nicht ökonomisch. Die durch eine reichlich bemessene Heizfläche bedingten grösseren Kosten werden durch Ersparnisse im Betriebe meist in kurzer Zeit aufgewogen. Umgekehrt ist auch eine zu grosse Heizfläche zu vermeiden, da andernfalls die für die richtigen Zugverhältnisse erforderliche Schornsteintemperatur in Frage gestellt werden kann. Bei unterbrochenem Betriebe der Heizungsanlage sollten die abziehenden Heizgase im ungünstigsten Falle nicht über 250—300° bei Eintritt in den Schornstein besitzen; bei Dauerbetrieb (Schüttfeuerung), auch bei Gasöfen, rechne man mit der Temperatur der von der Heizfläche zu erwärmenden Flüssigkeit, vermehrt um etwa 80—100°. Weitere Angaben finden sich an den betreffenden Stellen der einzelnen Heizungsanlagen.

Für die Einhaltung dieser für die Berechnung der Anlage anzunehmenden oder vorzuschreibenden Temperaturen der Abgase sollten die Ausführenden verpflichtet werden, niemals aber für den Brennmaterialverbrauch einer Anlage, da dieser wesentlich mit von dem Betriebe und der sachverständigen Bedienung abhängt.

Da der Wärmerecipient sowohl bei der niedrigsten als höchsten Aussentemperatur, für die sich eine Erwärmung noch nöthig erweist, in Betrieb zu stehen hat, so ist es bei einer einigermassen umfangreichen Anlage rathsam, die erforderliche Heizfläche in zweien oder mehreren von einander getrennten Feuerungsanlagen anzuordnen, andernfalls können nach Effekt und Oekonomie ungünstige Betriebsverhältnisse eintreten. Durch die Theilung der Heizfläche verbilligt sich auch die Anordnung einer etwa in Aussicht zu nehmenden Ersatz-Feuerungsanlage. Bei zwei Feuerungsanlagen vertheile man auf dieselben die gesammte Heizfläche in dem Verhältnisse von etwa 1 : 2, damit je nach der Aussentemperatur nur die kleine, oder nur die grosse oder beide Feuerungsanlagen in Benutzung genommen werden können. Bei drei und mehr Feuerungsanlagen ist die Zerlegung der Heizfläche in gleich grosse Theile zu empfehlen.

Bei Heizflächen, welche die aus dem Brennstoffe entnommene Wärme an Luft zu übertragen haben (Oefen) und aus einem die Wärme gut leitenden Materiale (Eisen) bestehen, muss auf eine nicht zu hohe Temperatur derselben geachtet werden, um mit Sicherheit ein Versengen oder Verbrennen des in der Luft enthaltenen organischen Staubes, und unter Umständen auch eine Belästigung durch strahlende Wärme, zu vermeiden, ausserdem um eine möglichst gleichmässige Wärmevertheilung im Raume zu erzielen. Unbedingt darf ein Glühen der Heizflächen während des normalen Betriebes der Heizungsanlage nicht eintreten, wenn auch die früher hierfür noch

Digitized by Google

geltend gemachten und aus der Möglichkeit des Durchdringens von Kohlenoxyd bei glühenden Eisenflächen abgeleiteten Befürchtungen infolge eingehender Untersuchungen hervorragender Hygieniker als gegenstandslos anzusehen sind.

Glühen kann durch Auskleidung der Wärme aufnehmenden Flächen mit einem die Wärme nicht besonders gut leitenden feuerfesten Materiale (Chamotte) oder innerhalb gewisser Grenzen dadurch vermieden werden, dass man die Wärme aufnehmende Fläche klein (glatte Heizfläche), die Wärme abgebende Fläche gross (gerippte Heizfläche) gestaltet. Häufig werden beide Mittel zur Anwendung zu kommen haben. Ein Erglühen ist bei nicht genügendem Schutze vorwiegend an Stellen inniger Berührung der Heizflächen mit den Heizgasen zu erwarten, also ganz besonders an den die Bewegungsrichtung ändernden Flächen (Knie, Bogen u. s. w.), gleichwohl wird bei jeder Feuerungsanlage auf häufige Aenderung der Bewegungsrichtung der Heizgase zu achten sein, um beständig ein Mischen der abgekühlten mit den weniger abgekühlten Heizgasen zu sichern.

II. Heizkörper zur Erwärmung der Räume.

Die Heizkörper zur Erwärmung der Räume werden nach ihrer Konstruktion, Regelung und sonstigen Eigenart an den betreffenden Stellen der verschiedenen Heizungsanlagen Besprechung finden; allgemein ist das Nachstehende anzuführen.

1. Anordnung der Heizkörper.

Der Temperaturunterschied zwischen der die Heizkörper verlassenden Luft und der Raumluft gestaltet sich um so kleiner, je niedriger die Temperatur der Heizkörper ist, je rascher die Luft an denselben vorübergeführt wird und je geringere Höhe sie besitzen.

Sofern nicht künstliche Mittel in Anwendung gebracht werden, wächst bekanntlich die Geschwindigkeit der an den Heizkörpern aufsteigenden Luft nicht proportional mit der Höhe. Es ist daher grundsätzlich rathsam, niedrige Heizkörper anzuwenden, d h. eine möglichst grosse horizontale Ausdehnung derselben vorzusehen, und, da die warme Luft eine aufsteigende Bewegung hat, die Heizflächen bei Räumen von gewöhnlicher Höhe und verhältnissmässig geringen Wärmeverlusten der Decke möglichst unmittelbar über Fussboden im Raume anzuordnen.

Heizflächen in Form einfacher über Fussboden herumgeführter Rohrleitungen müssen mithin in fraglicher Hinsicht als die besten angesehen werden; auch die neuerdings für Krankenhäuser häufig angewendete Fussbodenheizung ist hier zu erwähnen, doch sollte dieselbe weniger zur Erwärmung eines Raumes als vielmehr zur Ver-

Digitized by Google

meidung einer zu grossen Wärmeentziehung lediglich der Füsse in Aussicht genommen werden; die Temperatur des Fussbodens ist daher nur zu etwa 22° anzunehmen.

Da in der Regel nur an einzelnen Stellen eines Raumes Heizkörper aufgestellt werden können, so ist für die Anordnung derselben zu beachten, dass einem jeden ein bestimmter Stromkreis der Luftbewegung zukommt. Die Luftbewegung tritt ein infolge der durch die Erwärmung der Luft an den Heizkörpern bedingten Störung des Gleichgewichts. Die erwärmte leichtere Luft wird durch die zuströmende, unerwärmte Luft gehoben, es bilden sich an den Heizkörpern warme aufsteigende, an den Abkühlungsflächen kühlere herabsinkende Luftströme. Je kleiner die Stromkreise sind, desto besser ist dies für die gleichmässige Erwärmung der Räume. Die Grösse der Stromkreise hängt ab von der Grösse der Heizkörper, der Wiederabkühlung der an denselben erwärmten Luft und den Hindernissen, die sich der Bewegung der Luft entgegenstellen.

Bei nicht hohen Räumen in Bezug auf ihre horizontale Ausdehnung können z. B. Deckenunterzüge den Stromkreis beeinträchtigen und eine ungleiche Wärmevertheilung hervorrufen. Ein Erker mit grossem Wärmebedarfe wird ungenügend erwärmt und daher im Winter nicht zu benutzen sein, wenn er selbst keine Heizfläche besitzt und die Bewegungsrichtung des Stromkreises der ausserhalb desselben stehenden Heizkörper hauptsächlich durch andere ihnen näher liegende einflussreiche Abkühlungsflächen bedingt ist, oder wenn ein der Luftbewegung hinderlicher Unterzug den Erker vom zugehörigen Raume trennt. Ein Erker wird leicht überwärmt, wenn in demselben sich ausser der ihm zukommenden Heizfläche noch Heizkörper zur Erwärmung des anstossenden Raumes befinden, dagegen die den Wärmebedarf dieses Raumes bedingenden Abkühlungsflächen in grösserer Entfernung vom Erker liegen. Die Aufgabe des Heiztechnikers ist es somit, die Heizkörper nach Massgabe möglichst kleiner und wirklich eintretender Stromkreise anzuordnen. Im Allgemeinen ist daher anzustreben, die Heizkörper in einem Raume derartig zu vertheilen, dass sie an den Stellen des grössten Wärmebedarfs liegen, z. B. an den Fenstern.

In Räumen von bedeutender Höhe und bedeutenden Wärmeverlusten in grösserer Höhe über Fussboden werden nach dem Gesagten häufig auch Heizkörper in halber oder ganzer Höhe anzubringen sein, da andernfalls die Stromkreise der Luftbewegung eine solche Ausdehnung erhalten müssen und die Geschwindigkeit der Luftbewegung eine solche Grösse annehmen wird, dass besonders durch die kühleren herabsinkenden Luftströme Zugerscheinungen zu befürchten sind. Ganz besonders macht sich dies bei Kirchen, Sälen mit Hochfenstern oder Oberlichten, Werkstätten mit Glas- und Wellblechdecken u. s. w. nöthig.

Digitized by Google

Aber auch bei kleineren Stromkreisen der Luftbewegung können bei einigermassen lebhafter Bewegung der aufsteigenden und herabfallenden Luftströme infolge eines grösseren Temperaturunterschiedes Zugerscheinungen empfunden werden, z. B. in der Nähe grosser und einfacher Fenster. Alsdann ist der Stromkreis der Luftbewegung durch geeignete Vorrichtungen von den Anwesenden fern zu halten, d. h. es ist ihm Zwangslauf anzuweisen. Bei grossen einfachen Fenstern empfiehlt es sich z. B. zu diesem Zwecke, in einem gewissen Abstande Glasvorsetzer von genügender Höhe anzubringen, um hinter denselben die an den Fensterflächen sich abkühlende und herabsinkende Luft aufzufangen und ihr den gewünschten Weg nach dem seitlich ummantelten Heizkörper anzuweisen. Dieser wird am besten am Fusse des Fensters vor demselben angeordnet, so dass die warme aufsteigende Luft nochmals eine Art Scheidewand gegen den Einfluss der kühleren Fensterfläche bildet. Bei kleineren einfachen Fenstern oder bei Doppelfenstern genügt bereits ein lediglich hinter dem Heizkörper angebrachter nicht bis auf den Fussboden reichender Schirm, hinter dem die kühlere am Fenster herabfallende Luft zwangsläufig nach dem seitlich ummantelten Heizkörper geführt wird.

2. Verkleidung der Heizkörper.

Vielfach werden die Heizkörper eines gefälligeren Aussehens halber verkleidet. Diese Verkleidung kann aus Gitterwerk bestehen, sofern sich in der Nähe der Heizkörper Niemand aufzuhalten hat bezw. aufhalten will, anderenfalls muss sie als fester Mantel hergestellt sein, in den die Luft unten ein- und von dem die warme Luft oben ausgelassen wird.

Der Austritt der Luft bei Mantelverkleidung von Fensterheizkörpern, wie sie bereits weiter oben Erwähnung gefunden hat, erfolgt dann am besten durch vergitterte Oeffnungen im Fensterbrette, oder auch seitlich unter dem Fensterbrette, der Eintritt dagegen durch eine hinlänglich breite, hinter dem Austritte liegende Schlitzöffnung des Fensterbretts. Diese Anordnung setzt allerdings ein etwas breites Fensterbrett voraus. (Ueber den Einfluss der Verkleidung auf die Wärme-Abgabe der Heizkörper vergleiche das unter III, 2 dieses Kapitels hierüber Gesagte.)

Bei Aufenthalt von Personen in der Nähe der Fenster (Geschäftsräume u. s. w.) ist es auch ganz zweckmässig, die Verkleidung etwa zu $^1/_3$ vom Fussboden gerechnet, aus weitmaschigem Gitterwerke, die übrige aus einem festen Mantel herzustellen, damit der untere Theil des Heizkörpers Wärme über den Fussboden hinweg ausstrahlen kann.

Digitized by Google

3. Reinigung der Heizkörper von Staub, Erhaltung reiner Luft.

Durch die Erwärmung der Luft wird an und für sich eine Güteverminderung der Luft nicht hervorgerufen. Da aber die Luft jederzeit Staubtheilchen organischer Natur enthält, diese aber Träger von Krankheitskeimen sein und auch bei Berührung mit erwärmten Flächen für die Gesundheit des Menschen nachtheilige Veränderungen erfahren können (s. S. 29), so ist jederzeit einestheils für Reinhaltung der Heizkörper, anderentheils für Vermeidung sehr heisser Flächen Sorge zu tragen. Vor allen Dingen ist aber den Heizkörpern eine Form zu geben, die möglichst wenig Staubablagerung, zum mindesten jedoch eine Beseitigung des abgelagerten Staubes gestattet. Nach dieser Richtung sind glatte — und wie neuerdings in den Handel gebracht — emaillirte Heizkörper die besten, und die senkrechten Flächen den wagerechten vorzuziehen. Alle Heizkörper, die eine Ansammlung des Staubes ohne die Möglichkeit einer Befreiung von demselben zulassen, sollten aus hygienischen Gründen von der Anwendung ausgeschlossen werden. Bei Verkleidung der Heizkörper durch Gitter oder Mäntel ist jederzeit für die leichte Entfernung der letzteren Sorge zu tragen.

Mittelbare Regelung der Heizkörper durch geschlossene und nach Bedarf für den Durchgang von Luft zu öffnende Mäntel sind vom hygienischen Standpunkte nicht zu empfehlen. Diese Mäntel müssen, sofern sie in annähernd befriedigender Weise ihren heiztechnischen Zweck erfüllen sollen, dicht schliessen, also an der Rückseite fest mit der Wand verbunden sein, am besten eine besondere Rückwand besitzen, werden aber alsdann durch das Dienstpersonal selten — auch wenn die Möglichkeit vorliegt — behufs Reinigens des Heizkörpers entfernt.

Ueber das Vermeiden glühender Heizflächen bei eisernen Oefen ist bereits unter I. dieses Kapitels das Erforderliche gesagt worden.

III. Berechnung der Heizflächen.

Unter „Heizfläche“ soll — sofern nichts anderes bemerkt wird — jederzeit die äussere Fläche eines Heizkörpers verstanden werden, gleichgültig ob dieselbe (wie z. B. bei einem Dampfkessel) die Wärme aufnehmende oder (wie z. B. bei einem zur Erwärmung eines Raumes dienenden Körper) die Wärme abgebende Fläche ist.

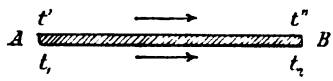


Fig. 35.

1. Aufstellung der Gleichung.

Werden durch eine Scheidewand AB (s. Fig. 35) von gleichartiger Beschaffenheit und mit parallelen Begrenzungsflächen von der

Digitized by Google

Grösse F zwei in gleicher Richtung sich bewegende Flüssigkeiten von verschiedener Temperatur getrennt, von denen die wärmere im Verlaufe ihres Weges sich von der Temperatur t' auf die Temperatur t'' abkühlt, d. h. die Wärmemenge W an die andere Flüssigkeit abgiebt, die kühlere dagegen sich von der Temperatur t_1 auf die Temperatur t_2 erwärmt, also die Wärmemenge W aufnimmt, was voraussetzt, dass $t' > t_1$, $t'' > t_2$ ist, so kann gemäss der im vorigen Kapitel unter I, 1 gegebenen Berechnung für ein unendlich kleines Flächentheilchen dF rechtwinkelig zu AB die Ueberführung der Wärme dW proportional gesetzt werden dem Flächentheilchen, dem Unterschiede der Temperaturen zwischen der wärmeren und der kühleren Flüssigkeit $\vartheta' - \vartheta$ und einem Wärmetransmissionskoefficienten k, d. h. also:

$$dW = dFk(\vartheta' - \vartheta).$$

Nach Fig. 35 muss sich nun verhalten:

$$dW : W = d\vartheta : t_2 - t_1.$$

dW aus letzter Gleichung in die erste eingesetzt, ergiebt:

$$dF = \frac{d\vartheta W}{k(\vartheta' - \vartheta)(t_2 - t_1)}.$$

Zur Lösung dieses Ausdrucks ist $\vartheta' - \vartheta$ zu eliminiren; hierzu dient folgende Betrachtung.

Es muss sich die Temperaturabnahme der Wärme abgebenden Flüssigkeit vor dF zur Temperaturzunahme der Wärme aufnehmenden Flüssigkeit vor dF verhalten wie die gesammte Temperaturabnahme zur gesammten Temperaturzunahme, d. h. es muss sein:

$$\frac{t' - \vartheta'}{\vartheta - t_1} = \frac{t' - t''}{t_2 - t_1}.$$

Nach Addition von 1 auf jeder Seite der Gleichung erhält man nach einiger Umformung:

$$\frac{t' - \vartheta' + \vartheta - t_1}{\vartheta - t_1} = \frac{t' - t'' + t_2 - t_1}{t_2 - t_1}.$$

Setzt man vorübergehend $t' - t_1 = \Delta$ und $t'' - t_2 = \Delta_1$ und bringt die Nenner auf die andere Seite der Gleichung, so erhält man nach entsprechender Gruppirung:

$$(\vartheta' - \vartheta)(t_2 - t_1) = (\Delta_1 - \Delta)\vartheta - \Delta_1 t_1 + \Delta t_2.$$

Dies in die Gleichung von dF eingesetzt, giebt, da für $F = 0 : \vartheta = t_1$, für $F = F : \vartheta = t_2$ wird:

$$F = \int_{t_1}^{t_2} \frac{d\vartheta W}{k\{(\Delta_1 - \Delta)\vartheta - \Delta_1 t_1 + \Delta t_2\}}.$$

Digitized by Google

Führt man nun für Δ und Δ_1 die ursprünglichen Werthe wieder ein und wählt man im vorliegenden Falle, da die beiden Flüssigkeiten in paralleler Richtung fliessen, für F die Bezeichnung F_p, so erhält man die Gleichung der Parallelstromheizfläche:

$$F_p = \frac{W}{k(t' - t_1 - t'' + t_2)} ln \frac{t' - t_1}{t'' - t_2}. \qquad (110)$$

Findet die Bewegung der Flüssigkeiten in entgegengesetzter Richtung statt (s. Fig. 36), so ersieht man, dass nur eine Vertauschung von t_1 mit t_2 stattgefunden hat. Ohne nochmalige Entwicklung ergiebt sich somit die Gleichung der Gegenstromheizfläche:

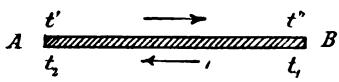


Fig. 36.

$$F_g = \frac{W}{k(t' - t_2 - t'' + t_1)} ln \frac{t' - t_2}{t'' - t_1}. \qquad (111)$$

Lässt sich annehmen, dass sich die Wärme abgebende Flüssigkeit in Ruhe befindet, d. h. dass nur ein schneller Austausch der Flüssigkeitstheilchen ohne eigentliche Strömung stattfindet, und dass die Wärme abgebende Flüssigkeit durchweg die gleiche Temperatur t besitzt, also $t' = t'' = t$ ist, so erhält man die eine Gleichung für die Einstromheizfläche:

$$F_{e_1} = \frac{W}{k(t_2 - t_1)} ln \frac{t - t_1}{t - t_2}. \qquad (112)$$

Ist dagegen nur die Wärme aufnehmende Flüssigkeit in Ruhe und die Temperatur derselben durchweg t_0, so erhält man die andere Gleichung für die Einstromheizfläche:

$$F_{e_2} = \frac{W}{k(t' - t'')} ln \frac{t' - t_0}{t'' - t_0}. \qquad (113)$$

Sind die Temperaturunterschiede zwischen der Wärme abgebenden und Wärme aufnehmenden Flüssigkeit keine sehr bedeutenden und ist auch die Bewegung der Flüssigkeiten als eine regelrechte Strömung nicht anzusehen, so kann man in Gl. 110 und 111 den log. nat. in eine Reihe auflösen und von derselben nur das erste Glied in Ansatz bringen. Es verschwindet alsdann der Begriff des Parallel- und Gegenstroms, da beide betreffenden Gleichungen denselben Werth liefern, d. h. es wird:

$$F = \frac{W}{k\left(\frac{t' + t''}{2} - \frac{t_1 + t_2}{2}\right)}. \qquad (114)$$

Befinden sich beide Flüssigkeiten in Ruhe und haben gleichbleibende Temperaturen, was im vorigen Kapitel bei Bestimmung der Wärmemenge, die stündlich im Beharrungszustande durch die Umschliessungs-

Digitized by Google

körper eines Raumes verloren geht, angenommen worden war, so erhält man die dort auf anderem Wege gefundene Gleichung, sofern man in der vorstehenden $t' = t'' = t$ und $t_1 = t_2 = t_0$ setzt:

$$F = \frac{W}{k(t - t_0)}.$$

2. Bestimmung des Transmissionskoefficienten k.

Die im vorigen Kapitel entwickelten Ausdrücke für den Transmissionskoefficienten k können für den vorliegenden Fall keine Anwendung finden, da dieselbe einen unveränderlichen Temperaturunterschied zwischen der Wärme abgebenden und Wärme aufnehmenden Flüssigkeit, also keine Bewegung derselben, voraussetzt. Bei strömender Bewegung der Flüssigkeiten würden die Ausdrücke nur für ein unendlich kleines Flächentheilchen richtig sein, und man ersieht, dass der Koefficient k an jeder Stelle einer Stromheizfläche eine andere Grösse besitzt. Für die Wärmeübertragung kommen, wie die im vorigen Kapitel entwickelten Ausdrücke zeigen, die Temperaturen der Flüssigkeiten und der Wärme abgebenden bezw. aufnehmenden Fläche an der Berührungsstelle in Frage und diese Temperaturen sind vielleicht durch feine Messungen mittels Thermoelementen bei Versuchen bestimmbar, in der Praxis aber bei der Vielgestaltigkeit der Heizkörper, bei dem Abweichen der Parallelität der Stromflächen (z. B. bei Rippenheizkörpern) mit genügender Sicherheit zum mindesten für Luft, nicht anzunehmen. Der Wärmeaustausch zwischen den Flüssigkeiten hängt überdies nicht nur von Temperaturunterschieden, sondern auch von der Geschwindigkeit der Flüssigkeiten ganz wesentlich ab, die sich ebenfalls in der Praxis vielfach der Beurtheilung entziehen.

Wenn man endlich die Gleichungen der Stromheizflächen und deren Voraussetzungen betrachtet, so erkennt man, dass die Annahmen mit der Wirklichkeit wohl nie übereinstimmen, denn ausschliesslich parallele Strömungen werden thatsächlich nur selten oder niemals stattfinden, sondern jederzeit Nebenströmungen, bedingt durch Temperaturunterschiede, durch körperliche Beschaffenheit der Wärme aufnehmenden und Wärme abgebenden Fläche, durch die wagrechte, geneigte oder senkrechte Lage der Heizfläche u. s. w. eintreten. Bei Heizkörpern zur Erwärmung von Räumen werden auch vielfach, trotz Bewegung der Flüssigkeiten, keine eigentlichen Stromheizflächen vorhanden sein, z. B. strömt bei einem Heizkörper in Gestalt einer Rohrspirale der Dampf oder das Wasser zwar einigermassen der Voraussetzung entsprechend, nicht aber die an der Heizfläche sich erwärmende Luft.

Wenn ein Transmissionskoefficient für die Praxis Werth haben soll, so hat er alle der Kenntniss und Beurtheilung sich entziehenden

Digitized by Google

Einflüsse auszugleichen. Die analytische Behandlung der Transmissionskoefficienten soll daher, da sie zur Zeit, insonderheit für die Heizungstechnik, bei der die vielgestaltigsten Heizflächen Verwendung finden, noch keine zuverlässigen Ergebnisse liefert, an dieser Stelle soweit Luft-, Wasser- und Dampfheizkörper in Frage kommen, durch die Ergebnisse einer grossen Reihe unter Leitung des Verfassers angestellter Versuche*) ersetzt werden. Für Heizflächen, die nicht in den Bereich der Versuche gezogen worden sind, also z. B. für alle Feuerheizflächen (Oefen, Kessel u. s. w), müssen die bisher in der Praxis gebräuchlichen Koefficienten Verwendung finden.

Wenn nun der Transmissionskoefficient den Ausgleich nicht bestimmbarer Verhältnisse bewirken soll, so lässt sich durch ihn auch noch mehr zum Ausgleiche bringen, d. h. er gestattet eine für die Praxis angenehme Vereinfachung der Stromgleichungen, vorausgesetzt, dass auch für die Auswerthung der Versuchsergebnisse dieselben vereinfachten Gleichungen Anwendung gefunden haben. Natürlich sind dann auch umgekehrt die auf diese Weise für die verschiedenen Heizflächen ermittelten Transmissionskoefficienten nur wieder unter Benutzung der vereinfachten Gleichungen zu verwenden.

Für die Versuche des Verfassers hat eine solche Vereinfachung der Gleichungen stattgefunden, indem denselben die Gl. 114 zu Grunde gelegt worden ist. In derselben stellt bei Heizkörpern zur Erwärmung von Räumen t_1 die Anfangs-, t_2 die Endtemperatur der erwärmten Luft dar. Da diese jedoch in der Praxis niemals mit genügender Sicherheit zu bestimmen ist, wurde, soweit in den Tabellen nicht anders erwähnt, bei den Versuchen für $\frac{t_1 + t_2}{2}$ die jederzeit bekannte Temperatur der zuströmenden Luft t_s (in den meisten Fällen also die Temperatur der Zimmerluft) in Rechnung gesetzt. (Siehe auch das später hierüber Gesagte.) Die Gleichung geht dann über in die andere:

$$F = \frac{W}{k\left(\frac{t' + t''}{2} - t_s\right)} \qquad (115)$$

und aus dieser ergiebt sich die für Bestimmung des Transmissionskoefficienten aus den Versuchsergebnissen verwendete Gleichung:

$$k = \frac{W}{F\left(\frac{t' + t''}{2} - t_s\right)}. \qquad (116)$$

In derselben bedeutet also:

F die (Wärme abgebende) Heizfläche in qm,

W die stündliche, durch Versuche mit Luft-, Wasser- und Dampfheizkörpern festgestellte Wärmeabgabe der Heizfläche in WE,

*) Eingehendere Mittheilungen an anderer Stelle bleiben vorbehalten. D. V.

Digitized by Google

t' bezw. t'' die Anfangs- bezw. Endtemperatur der Luft, des Wassers oder des Dampfes,

t_z die Temperatur der zuströmenden Luft,

k den Transmissionskoefficienten bezogen auf F, d. h. die Wärmemenge, die von einem qm Heizfläche von der Gestaltung der Heizfläche F, bei einem Grade Temperaturunterschied zwischen dem Wasser bezw. Dampfe und der zuströmenden Luft stündlich an die Luft abgegeben worden ist.

Tabelle 13 enthält eine grössere Anzahl von Transmissionskoefficienten für die verschiedensten Heizflächen, die sämmtlich durch die angedeuteten Sondervèrsuche ermittelt worden sind.

Ueber die Versuche selbst und deren Ergebnisse möge an dieser Stelle noch Folgendes Mittheilung finden.

Der Versuchsraum ($6^1/_2 \times 4^1/_2 \times 4$ m) war in einen grösseren auf beliebige Temperatur zu erwärmenden Raum eingebaut; seine zwei Fenster lagen den Fenstern des Umschliessungsraumes gegenüber, diese Anordnung gestattete somit das möglichste Fernhalten zufälliger Einflüsse des Windes, Regens, Sonnenscheins, der Abkühlung u. s. w.

Bei den Versuchen mit Warmwasserheizkörpern wurde die Wärmeabgabe durch Wägen des durch die Körper während des Beharrungszustandes der Erwärmung geflossenen Wassers unter Berücksichtigung der Ein- und Austrittstemperatur desselben bestimmt. Das Versuchswasser wurde vor jedem Versuche in einem 1,5 cbm fassenden Gefässe mittels Dampf auf die gewünschte Temperatur gebracht. Die Abkühlung des Wassers in dem Gefässe bei 90^0 Anfangstemperatur betrug infolge der vorgesehenen Wärmeschutzbettung innerhalb 24 Stunden nur 2^0.

Die bei den Versuchen zur Verwendung gekommenen Thermometer waren in $^1/_{10}$ Grade getheilt, die etwaigen Kalibrirungsfehler von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt in Charlottenburg festgestellt worden. Die Thermometer liessen eine Schätzung bis auf $^1/_{100}$ Grade zu. Der Quecksilberkörper der Wasserthermometer wurde dem Wasserstrome direkt ausgesetzt, derjenige der Lufthermometer vor dem Einflusse der strahlenden Wärme durch besonders geformte, blank polirte Metallhülsen geschützt.

Bei den Versuchen mit Dampfheizkörpern wurde die Wärmeabgabe durch Wägen des Niederschlagswassers und unter Berücksichtigung der Dampfspannung bezw. Temperatur vor und hinter dem Heizkörper bestimmt.

Die zu diesem Zwecke besonders konstruirte Waage*) gab bei einem Wägegute von 50 kg noch 1 g mit Genauigkeit an.

*) Die Konstruktion und Ausführung der Waage entstammte der Firma Gebr. Dopp-Berlin.

Digitized by Google

Der Dampf entstammte den Betriebskesseln der Technischen Hochschule und wurde auf die gewünschte Versuchsspannung bis 0,3 Atm. herab durch einen Spannungsregler,*) bei geringerer Spannung durch zwei hinter einander geschaltete Spannungsregler vermindert. Hinter den Reglern befanden sich eigens für diesen Zweck konstruirte Wasserabscheider, so dass im Allgemeinen angenommen werden konnte, dass gesättigter Dampf ohne mitgerissenes Wasser in den Versuchsheizkörper einströmte.

Die Waage hatte in einem unter dem Versuchsraume liegenden Raume Aufstellung gefunden; auf einem an derselben angebrachten Teller stand ein durch den Fussboden des Versuchsraums reichendes, vor Wärme-Abgabe möglichst gut geschütztes und in seiner trotz dieses Schutzes noch stattfindenden Wärme-Abgabe genau bestimmtes Messgefäss, durch das bei Unterbrechung der Versuche Tag und Nacht direkter Dampf eintrat, um den Beharrungszustand seiner Erwärmung zu erhalten. Das Niederschlagswasser, das sich während der Unterbrechung der Versuche im Messgefässe bildete, führte ein selbstthätig wirkender Ableiter fort. Vor Beginn eines Versuchs wurde der direkte Dampf nach dem Messgefässe abgestellt und der Dampfzutritt nur durch den Versuchsheizkörper hindurch gestattet, während des Versuchs wurde im Messgefässe das im Heizkörper sich bildende Niederschlagswasser gesammelt und das Gewicht desselben nach Lösung der erforderlichen Verbindungen des Messgefässes durch Wägung bestimmt. Das Entleeren des Gefässes erfolgte nach Wiederherstellung der Verbindung mit dem Dampfzuflusse und mit der Abflussleitung unter Dampfdruck.

Da in der Rohrleitung auf dem Wege des Dampfes vor und hinter dem Heizkürper ebenfalls Dampf kondensirte, wurde für dieselbe eine bewegliche für alle Heizkörper benutzbare, gut geschützte Rohrleitung angeordnet, deren Wärme-Abgabe bei den verchiedensten Dampfspannungen ohne eingeschalteten Heizkörper, einschliesslich der geringen Wärme-Abgabe des Messgefässes, ebenfalls durch Messung des Niederschlagswassers bestimmt worden war und die von derjenigen in Abzug gebracht wurde, die sich bei den Versuchen mit eingeschaltetem Heizkörper ergab. Auf diese Weise blieb auch das trotz der vorerwähnten Wasserabscheider etwa noch mitgerissene Wasser auf das Endergebniss ohne Einfluss, da die Menge des mitgerissenen Wassers bei Bestimmung der Wärme-Abgabe der Verbindungsleitung sowie bei derjenigen des Versuchs-Heizkörpers die gleiche war und somit bei der Auswerthung der Versuche sich subtrahirte.

Was die Ergebnisse der Versuche betrifft, so sind diese aus einer sehr grossen Reihe von einzelnen Versuchen gewonnen worden. Jeder einzelne Versuch bestand wiederum aus einer oftmals recht

*) Spannungsregler der Firma Chr. Salzmann-Leipzig.

Digitized by Google

bedeutenden Anzahl, in längeren oder kürzeren Zwischenräumen (gewöhnlich 10 Minuten) sich wiederholenden Beobachtungsreihen. Die Anzahl der Einzelversuche schwankte je nach der erzielten Zuverlässigkeit und Uebereinstimmung der Ergebnisse; beispielsweise sind — ausser den Vorversuchen — mit Wasserheizkörpern etwa 500, mit Radiatoren für Dampf etwa 120, mit Dampfheizkörpern unter Steigerung der Luftgeschwindigkeit etwa 270 Versuche ausgeführt worden.

Wie bereits erwähnt, hängt die Wärme-Abgabe eines Heizkörpers an Luft ausser von seiner körperlichen Beschaffenheit im Wesentlichen von der Eigenart des Wärme abgebenden Mediums, dessen Temperatur und Geschwindigkeit, sowie von der Temperatur und Geschwindigkeit der Wärme aufnehmenden Luft ab.

Was zunächst den Einfluss der Geschwindigkeit bei gleichbleibender Temperatur betrifft, so wächst im Allgemeinen die Wärme-Ueberführung mit derselben zum Theile in sehr bedeutendem Maſse, wenn auch nicht proportional und auch nur bis zu einer gewissen Grenze der Geschwindigkeit.

Bei Steigerung der Wassergeschwindigkeit in den Heizkörpern zeigte sich meist, dass einer gewissen Geschwindigkeit die grösste Wärme-Abgabe entspricht, dass bei weiterer Steigerung der Geschwindigkeit die Wärme-Abgabe sich ein wenig verringert, um nach einem gewissen Abfalle nahezu konstant zu bleiben. Der Grund hierfür ist wohl in den Unebenheiten der Wärme aufnehmenden Fläche zu suchen. Bei geringer Geschwindigkeit werden die Thäler des wasserberührten Theiles vom Wasser gut durchflossen, bei Steigerung der Geschwindigkeit über ein gewisses Maſs hinaus werden sich in den Thälern Inseln bilden, die nur einen geringen Antheil an der Wasserbewegung nehmen und somit die Wärme-Abgabe verringern. Innerhalb der bei der Warmwasserheizung vorkommenden Geschwindigkeiten ist der Einfluss derselben für die Wärme-Abgabe der Heizkörper nicht bedeutend genug, um in der Praxis Berücksichtigung finden zu müssen.

Der beste Warmwasserheizkörper ist ein einfaches Rohr von geringem Durchmesser, weil ein kreisförmiger Querschnitt die geeignetste Form für die Wärme-Ausstrahlung bildet. Mit zunehmendem Durchmesser des Rohres vermindert sich die Wärme-Abgabe. Dieselbe müsste also für einen unendlich grossen Durchmesser, d. h. für eine Ebene am geringsten sein. Thatsächlich ist dies nicht der Fall, ein Plattenheizkörper giebt mehr Wärme ab als ein Rohr über 150 mm ä. D. Es kann diese Thatsache nur auf die bei einem weiten Rohre ungenügende Mischung der Wassertheilchen zurückgeführt werden. In der Praxis ist daher für die Wasserführung nicht allein Zwangslauf vorzusehen, sondern bei grösseren Querschnitten des Wasserstromes durch einzuschaltende Ablenkungen häufige Richtungsänderung

Digitized by Google

der Wasserbewegung und dadurch ein beständiges Mischen der wärmeren und kälteren Wassertheilchen herbeizuführen.

Die Steigerung der Dampfgeschwindigkeit hat auf die Wärme-Abgabe einen bedeutenden Einfluss. Die Versuche konnten, da hierfür ziemlich umfangreiche Versuchseinrichtungen erforderlich sind, zu einem Abschlusse nicht gebracht werden. In der Praxis werden die Ergebnisse, besonders für sehr ausgedehnte und vor Wärme-Abgabe gut geschützte Rohrleitungen insofern von besonderer Bedeutung sein, als sich durch die angestellten Versuche zeigte, dass bei einer gewissen Geschwindigkeit des Dampfes infolge der Reibungsverhältnisse ein Ueberhitzen des Dampfes eintritt. Auch ergiebt sich, dass bei einer längeren Rohrleitung der Abfall der Temperatur nicht mit dem Spannungsabfalle Schritt hält. Es liegt also bei Hochdruckdampfheizungen, wenn die Dampfgeschwindigkeit gross genug bemessen wird, die Möglichkeit vor, vielleicht ohne selbstthätig wirkende Niederschlagswasserableiter auskommen, die Lieferung trockenen bezw. überhitzten Dampfes an der Verbrauchsstelle erhalten und somit auch eine Verringerung der Wärmeverluste bewirken zu können, da überhitzter Dampf weniger Wärme als gesättigter abgiebt. Zum Ableiten des beim Anheizen sich bildenden Niederschlagswassers würde eine einfache verschliessbare Rohrleitung genügen.

Bei den gewöhnlichen in der Praxis angewendeten Dampfheizkörpern wird die Dampfgeschwindigkeit für die Wärme-Abgabe zu vernachlässigen sein, da nur so viel Dampf zuströmt, als sich am Heizkörper niederschlägt. Nur bei grossen Rohrheizkörpern dürfte die Geschwindigkeit nicht ohne Einfluss auf die Wärme-Abgabe bleiben und unter Umständen eine gewisse Steigerung der Werthe der Tabelle 13 bewirken.

Die Geschwindigkeit der Wärme aufnehmenden Luft ist von ebenso grosser Bedeutung für die Wärme-Uebertragung als die Geschwindigkeit des Wärme abgebenden Wassers oder Dampfes. Da für die Wärme-Aufnahme der Luft selbstverständlich auch der Temperaturunterschied zwischen den Wärmeflächen und der Luft in Frage kommt, so muss die Gestaltung der Heizkörper auf die Wärme-Abgabe von besonderem Einflusse sein.

Bei einfachen glatten Röhren kann in der Praxis die Wärme-Abgabe gleich gross für eine horizontale, geneigte oder vertikale Lage angenommen werden. Es wird dies dadurch begründet sein, dass der bei einem vertikalen Rohre nach oben abnehmende Temperaturunterschied zwischen Wasser und Luft trotz der für die Wärme-Abgabe günstigeren grösseren Geschwindigkeit der Luft den geringeren Werth der horizontalen Fläche ausgleicht.

Ein vertikales Rohr giebt etwas mehr Wärme ab in Gestalt eines Vollrohrs, als wenn durch dasselbe noch ein inneres von der Luft durchströmtes Rohr von nur wenig geringerem Durchmesser hindurch

Digitized by Google

gezogen ist. Bei dem Vollrohre kühlt sich das Wasser infolge des relativ grossen Inhalts weniger ab, als bei dem Doppelrohre; die Geschwindigkeit der Luft entlang am Rohre und das seitliche Zuströmen von Luft ist daher im ersten Falle grösser als im zweiten und bedingt somit für die gleiche mittlere Temperatur des Wassers die etwas grössere Wärme-Abgabe.

Bei Dampf ist die Wärme-Abgabe von vertikalen Röhren grösser als von horizontalen anzunehmen und zwar bei Dampf bis ungefähr 1,3 Atm. abs. um etwa 5%, bei Dampf von ungefähr 2 Atm. abs. um etwa 10%. Der Grund sowohl hierfür als für das verschiedene Verhalten des Wassers und des Dampfes ist wohl darin zu suchen, dass bei senkrechten Dampfröhren im Gegensatze zu den horizontalen das Niederschlagswasser rasch abfliessen kann, die höhere Temperatur des Dampfes und der geringe Temperaturabfall desselben für die Geschwindigkeit der aufsteigenden Luft, somit für die Wärme-Abgabe von förderndem Einflusse ist. Bei allen Rohrheizkörpern ist daher bei Dampf stets auf ein möglichst grosses Gefälle zu achten.

Für glatte senkrechte Heizflächen, wie bei Plattenheizkörpern, Radiatoren u. s. w. von nicht zu bedeutender Höhe (bis etwa 1 m) ist der Einfluss der Höhe in der Praxis zu vernachlässigen. Die Verminderung der Wärme-Abgabe durch erhöhte Temperatur der Luft wird aufgehoben durch die dann infolge Steigerung der Luftgeschwindigkeit bedingte Zunahme der Wärme-Abgabe.

Dasselbe gilt auch für Rohrheizkörper, bei denen die Rohre nicht dicht auf einander liegen, also von der Luft gut umspült werden können, und die keine grössere Höhe als die eben erwähnten Heizkörper besitzen.

Bei grösserer Höhe ist es in den vorerwähnten Fällen rathsam, die Wärme-Abgabe um etwa 10% geringer in Ansatz zu bringen.

Bei Rippenheizkörpern aus einzelnen über einander liegenden Elementen macht sich im Gegensatze zu glatten Flächen der Einfluss der Höhe als recht nachtheilig bemerkbar, weil grössere Widerstände der aufsteigenden Luft sich darbieten, die Geschwindigkeit derselben und dadurch auch der Temperaturunterschied zwischen dem Wärme abgebenden Medium und der Luft verringert wird.

Die Luftgeschwindigkeit gewinnt eine grosse Bedeutung, wenn einestheils der Luft Zwangslauf angewiesen, eine innige Berührung möglichst aller Lufttheilchen mit der Heizfläche hervorgerufen und das seitliche Zuströmen unerwärmter Luft aufgehoben, anderntheils der natürliche Auftrieb durch künstliche Mittel gesteigert wird. Bei einer Reihe senkrechter neben einander stehender, von Dampf durchflossener Röhren (Sturtevant-Heizung), durch deren Zwischenräume von nur 5 mm senkrecht zu den Röhren Luft hindurchgepresst wurde, ergab sich bei einer Geschwindigkeit der Luft zwischen den Röhren an der engsten Durchgangsstelle von 2 m bereits eine Wärme-

Digitized by Google

Abgabe von rund 22 *WE* auf das qm für 1^0 Differenz zwischen der Dampftemperatur und der mittleren Temperatur der vorbei streifenden Luft, bei 20 m Geschwindigkeit von 72 *WE*. Bei Durchströmen eines von Dampf umgebenen Rohres von 0,096 m Durchmesser und 2 m Höhe war die Wärme-Abgabe dagegen unter gleichen Bedingungen nur etwa 7,5 bezw. 37 *WE*; sobald aber am Fusse des Rohres eine konzentrische Scheibe von 0,076 m Durchmesser eingesetzt wurde, so dass die Luft nur zwischen dieser und dem Rohre Eintritt erhielt und dadurch in Wirbelung kam, steigerte sich die Wärme-Abgabe auf ca. 15 bezw. 50 *WE*. Bei dem Rohre ohne eingesetzte Scheibe betrug der Temperaturunterschied zwischen der die Rohrwandung berührenden Luft und der Luft in der Mitte des Rohres am Austritte gemessen etwa $15—20^0$, bei dem Rohre mit Scheibe nur etwa $5—6^0$. Es ist also immer darauf zu achten, dass durch hervorzurufende Wirbel möglichst alle Lufttheilchen mit der Heizfläche in Berührung gebracht werden.

Für andere als die in der Tabelle 13, III, b angegebenen Verhältnisse ändert sich naturgemäss die Wärme-Abgabe, doch werden sich für diese aus den Angaben leidlich sichere Schlüsse ziehen lassen.

Die Temperatur der Wärme abgebenden Flüssigkeiten und diejenige der Luft haben insofern einen leichter zu berücksichtigenden Einfluss auf die Wärme-Abgabe, als innerhalb der bei Wasser- und Dampfheizung in Frage kommenden Verhältnisse die Wärme-Abgabe, ohne einen bedeutenden Fehler zu begehen, proportional der Temperaturdifferenz gesetzt werden kann. Es darf also beispielsweise in der Praxis angenommen werden, dass bei einer Temperatur der zuströmenden Luft von 20^0 und des Wassers von 60^0 nahezu dieselbe Wärme-Abgabe stattfindet, als bei einer Lufttemperatur von 0^0 und einer Wassertemperatur von 40^0.

Wie bereits hervorgehoben, hat die Gestaltung der Heizkörper wesentliche Einwirkung auf die Wärme-Abgabe.

Die Bedeutung der Wandstärke für die Wärme-Abgabe einer Heizfläche geht aus den Ergebnissen der Versuche mit gewöhnlichen schmiedeeisernen Röhren und den stärkeren Perkinsröhren hervor. Versuche lediglich zur Feststellung des Einflusses der Wandstärke konnten bis zur Zeit noch nicht gemacht werden und wurden als Versuchsheizkörper lediglich die in der Praxis üblichen gewählt. Bei diesen herrscht jederzeit das Bestreben vor, die Wandstärken so gering wie möglich zu bemessen, was als richtig zu bezeichnen ist, da Materialersparniss und Steigerung der Wärme-Abgabe Hand in Hand gehen. Auf Vollrippen ist dieser Grundsatz natürlich nicht anzuwenden.

Um eine gewisse Beurtheilung der Einwirkung von Rippen bei gusseisernen Heizkörpern zu gewinnen, wurde ein guss-

Digitized by Google

eiserner Kastenheizkörper von 60 cm Höhe mit auf jeder Seite 16 senkrechten Rippen von 6 cm Höhe (s. Tafel XIV, Fig. 1), 5 mm Stärke an der Basis, 4 mm an der Spitze und einem lichten Zwischenraume von im Mittel 45 mm untersucht, alsdann die Versuche nach Abhobeln der Rippen auf 5, 4, 2 und 0 cm Höhe wiederholt. Die Ergebnisse bilden einen Anhalt für die Frage, ob der Kosten halber Heizkörper mit hohen oder solche mit niedrigen Rippen vorzuziehen sind. Als Beispiel möge hierfür die folgende Aufstellung dienen, für die das Gewicht des untersuchten Rippenkastens und die beobachtete Wärme-Abgabe für eine mittlere Wassertemperatur von 70° und eine Temperatur der zuströmenden Luft von 20° in Rücksicht gezogen worden sind.

No.	Heizkörper	Heizfläche qm	Gewicht im Ganzen kg	Gewicht 1 qm Heizfläche kg	Wärme-Abgabe (*WE*) eines qm Heizfläche absolut	im Verhältnisse zu Heizk. No. 1	bezogen auf 1 kg des Gewichts
1	Heizkörper ohne Rippen	1,0667	59,13	55,43	460	1	8,3
2	Heizkörper mit 2 cm hohen Rippen	1,881	72,96	38,78	340	0,74	8,8
3	Heizkörper mit 4 cm hohen Rippen	2,660	84,40	31,73	310	0,67	9,8
4	Heizkörper mit 5 cm hohen Rippen	2,997	89,67	29,91	290	0,63	9,7
5	Heizkörper mit 6 cm hohen Rippen	3,422	94,70	27,67	268	0,58	9,7

Aus der Aufstellung geht hervor, dass die Rippen über 4 cm Höhe wieder eine Verminderung der Wärme-Abgabe, bezogen auf 1 kg Eisen, hervorgerufen haben.

In der Praxis kommen nicht nur senkrechte, sondern auch schräg gestellte Rippen in Anwendung. Der Versuch mit einem in den verschiedensten Stellungen gelagerten Rippenkasten von 60 cm Höhe, mit auf jeder Seite 32 Stück 6 cm hohen, im Mittel 5 mm starken Rippen in dem lichten Abstande von 18 mm liess bei Dampf klar erkennen, dass die senkrechte Stellung der Rippen die zweckmässigste ist. Bei horizontaler Lage der Rippen verringerte sich die Wärme-Abgabe um 40 %.

Die bei zwei glatten parallel neben einander liegenden Heizflächen stattfindende gegenseitige Bestrahlung vermindert selbst-

Digitized by Google

verständlich die Wärme-Abgabe. Bei zwei parallelen Plattenheizkörpern von 2 m Höhe, 0,7 m Breite und bei einem Temperaturunterschiede zwischen Dampf und Luft von 81° verringerte sich die Wärme-Abgabe der einander zugekehrten Heizflächen bei einem Zwischenraume derselben von:

16 mm	um	. . . . .	82 %,
44	„	„	58 „ ,
100	„	„	51 „ ,
200	„	„	43 „ ,
500	„	„	34 „ .

Auch bei Radiatoren ist naturgemäss, und zwar recht gut mit den vorstehend mitgetheilten Ergebnissen übereinstimmend, die nach aussen gekehrte Heizfläche der beiden Begrenzungselemente eine wesentlich bessere, als die zwischen den Elementen liegende. Nach den Versuchen mit Dampf hat sich die Wärme-Abgabe bei einem Temperaturunterschiede zwischen Dampf und Luft von 80° bezw. 100° ergeben für:

1 Element	$k = 12{,}2$	bezw.	12,5	*WE*,
2 Elemente	$k = 10{,}2$	„	10,5	„ ,
3 „	$k = 9{,}5$	„	9,6	„ ,
6 „	$k = 9{,}0$	„	9,3	„ .

Es berechnet sich aus diesen Werthen im Durchschnitte die Wärme-Abgabe der sich gegenseitig bestrahlenden Innenheizfläche der Elemente zu 8,15 bezw. 8,45 *WE* und man kann somit allgemein und auch recht gut mit den Beobachtungen übereinstimmend die Wärme-Abgabe setzen, wenn n die Anzahl der Elemente eines Radiators bedeutet:

$$\frac{a + b(n-1)}{n}.$$

Es ist also dann für Dampf zu nehmen bei einem Temperaturunterschiede zwischen Dampf und zuströmender Luft von etwa:

80° (Niederdruck)	$a = 12{,}2$,	$b = 8{,}15$,
100° (Hochdruck)	$a = 12{,}5$,	$b = 8{,}45$.

Die gleiche Behandlung auf Wasser angewendet stellt sich bei einem Temperaturunterschiede zwischen Wasser und zuströmender Luft von

unter 40°	$a = 8{,}2$,	$b = 5{,}90$,
über 40—50°	$a = 8{,}7$,	$b = 6{,}42$,
„ 50—60°	$a = 8{,}8$,	$b = 6{,}76$,
„ 60—70°	$a = 8{,}9$,	$b = 6{,}98$,
„ 70—80°	$a = 9{,}0$,	$b = 7{,}02$,
„ 80°	$a = 9{,}1$,	$b = 7{,}14$.

Digitized by Google

Der Abstand der einzelnen Elemente der Radiatoren von einander kann vernachlässigt werden, falls kein kleinerer als 25 mm angenommen wird, da durch die Beobachtungen ein nennenswerther Einfluss bei etwas weiterem Abstande sich nicht ergeben hat, sofern die Elemente, im Horizontalquerschnitte betrachtet, sich nach aussen rippenförmig verjüngen, somit für den Luftzutritt und die Wärmestrahlung eine möglichst günstige Fläche besitzen. Zweckmässig natürlich bleibt es immerhin, den Abstand der Elemente so gross wie möglich zu wählen.

Die Aufstellung eines Heizkörpers hat auf die Wärme-Abgabe selbstverständlich ebenfalls Einfluss. Die Wärme-Abgabe eines ganz frei stehenden Heizkörpers von nicht bedeutender Höhe ist etwas geringer, als wenn sich in der Nähe desselben eine Wand aus schlecht leitendem Materiale befindet. Bei einem Plattenheizkörper von 1 m Höhe wurde die Wärme-Abgabe bei Aufstellung von parallel laufenden Wänden aus Papptafeln in einer Entfernung vom Heizkörper von

20 mm	um	etwa	. . . . .	4 %,
140 „	„	„	. . . . .	15 „,
250 „	„	„	. . . . .	10 „

gesteigert. Bei einem Plattenheizkörper von 2 m dagegen war bei der Entfernung der Wände von 20 mm eine Verringerung der Wärme-Abgabe um etwa 18 %, bei 140 mm Entfernung wieder eine Steigerung um etwa 6 % und bei 250 mm Entfernung eine solche von etwa 13 % zu beobachten. Der Unterschied in der Wärme-Abgabe hängt theils von der geänderten Luftgeschwindigkeit, theils von der geänderten Temperaturdifferenz zwischen Heizfläche und Luft ab. Ueberwiegt die Zunahme der Luftgeschwindigkeit, so findet eine Steigerung der Wärme-Abgabe statt, überwiegt die Abnahme der Temperaturdifferenz, so tritt das Gegentheil ein.

Bei einem Rippenkasten mit 32 senkrechten Rippen auf jeder Seite war eine Steigerung oder Abnahme der Wärme-Abgabe durch Vorsetzen der Wände in den angegebenen Entfernungen nicht wahrnehmbar, die Abnahme war sogar auch dann eine ganz geringe, wenn die Wände unmittelbar an die Rippenenden angelegt wurden. Es ist dies ein Beweis, dass bei diesem Rippenheizkörper ziemlich fest geschlossene Luftströme zwischen den Rippen emporströmten und seitlich zufliessende Luft keinen Eingang in diese Ströme fand. Die Rippen hatten an der Basis eine Stärke von 6 mm, an der Spitze eine solche von 4 mm, die Entfernung von Mitte zu Mitte Rippe betrug 23 mm.

Aus den Beobachtungen ist für die Praxis hervorgegangen, dass man bei Aufstellung der Heizkörper an einer Wand den Zwischenraum zwischen beiden nicht unter etwa 50 mm wählen soll,

Digitized by Google

nur bei Rippenheizkörpern mit glatten, nicht zu eng aneinander stehenden, senkrechten Rippen kann er nöthigenfalls ohne Schaden für die Wärme-Abgabe etwas kleiner sein.

Die Ummantelung der Heizkörper mit Rahmen und theilweisem Gitterwerke kann nach den unmittelbaren Beobachtungen und dem soeben Mitgetheilten vernachlässigt werden, wenn über dem Heizkörper sich weitmaschige Gitter befinden und der Luft durch genügend grosse Querschnitte über Fussboden der senkrechten nicht vergitterten Umkleidung bequemer Zutritt gegeben wird. Geringer stellt sich aber die Wärme-Abgabe eines umkleideten Heizkörpers gegenüber derjenigen eines nicht umkleideten, wenn über demselben sich eine nicht durchbrochene Abdeckung befindet, die senkrechte Umkleidung dagegen aus Gitterwerk gebildet wird. In der Praxis bringt man dann in der Regel zu Zwecken eines leichten Luftumlaufs über dem Gitterwerke unter der Abdeckung und über Fussboden Ausschnitte im Rahmenwerke von nahezu der Breite desselben und etwa 3—4 cm Höhe an. Dies vorausgesetzt, genügt ein Zuschlag von 10% zu der als unverkleidet berechneten Heizfläche. Selbstverständlich darf der Heizkörper nicht die obere Abdeckung berühren, sondern muss auch der an der Rückseite des Heizkörpers emporsteigenden Luft leichtes Entweichen (am besten durch Leitblech) nach dem zu erwärmenden Raume gewähren.

Der Anstrich der Heizkörper übt bekanntermafsen auch einen Einfluss auf die Wärme-Abgabe aus. Die Untersuchung der Heizkörper hat vorwiegend in dem Zustande stattgefunden, in dem sich dieselben nach Fertigstellung ohne Anstrich befanden. Durch schwarzen Anstrich hat sich eine kleine Steigerung der Wärme-Abgabe, bei grauem Anstriche*) eine geringe Verminderung ergeben. Sofern also in der Praxis, wie meist, ein dunkler matter Anstrich für die Heizkörper gewählt wird, kann der Einfluss desselben unberücksichtigt bleiben bezw. als ein kleiner Sicherheitszuschlag angesehen werden.

Die auf Grund der Versuche für die Praxis empfohlenen Werthe der Wärme-Uebertragung von Wasser, Dampf oder Luft an Luft enthält Tabelle 13. Die Beobachtungen haben zum Theile etwas höhere Werthe ergeben, d. h. sie haben in der Tabelle für die Praxis meist unter Berücksichtigung der möglicherweise eintretenden ungünstigeren Verhältnisse eine geringe Abrundung nach unten erfahren. Z. B. ergaben die Versuche mit Radiatoren bei einem Temperaturunterschiede zwischen Dampf und Luft von 100° für:

1 Element	$k = 12{,}5$	*WE*,
2 Elemente	$k = 10{,}5$	„ ,
3 „	$k = 9{,}6$	„ ,
6 „	$k = 9{,}3$	„

*) Zum Anstriche wurde die Schuppenpanzerfarbe von Dr. Graff & Co., Berlin, verwendet.

Digitized by Google

Wenn nach dem auf S. 176 gegebenen Ausdrucke die Bestimmung von k vorgenommen wird, so stellt sich für:

1	Element	$k =$ 12,5	*WE*,
2	Elemente	$k =$ 10,48	„ ,
3	„	$k =$ 9,8	„ ,
6	„	$k =$ 9,13	„ ,
10	„	$k =$ 8,86	„ .

Nach der Tabelle 13 wird empfohlen zu rechnen für:

1	Element	$k =$ 12	*WE*,
2	Elemente	$k =$ 10	„ ,
3	„	$k =$ 9,5	„ ,
4—6	„	$k =$ 9,0	„ ,
über 6	„	$k =$ 8,5	„ .

In ähnlicher Weise wie vorstehend haben die übrigen Koefficienten Behandlung gefunden.

Wie bereits wiederholt hervorgehoben, ist bei den Beobachtungen und der Auswerthung derselben die Temperatur der dem Heizkörper zuströmenden Luft in Rücksicht gezogen worden. Was unter der letzteren zu verstehen ist, unterliegt keinem Zweifel, wohl aber wird über die in Rechnung zu ziehende Temperatur derselben noch eine Bemerkung erforderlich. Bei keinem Heizkörper, selbst wenn Zwangslauf der Luft vorgesehen ist, werden sämmtliche Lufttheilchen mit der Heizfläche in Berührung kommen, sondern jederzeit tritt ein Mischen erwärmter und nicht erwärmter Luft ein. Das Streben des Heiztechnikers soll jederzeit darauf gerichtet sein, ein schnelles Mischen der Lufttheilchen herbeizuführen. Hat man nur mit dem durch die Erwärmung hervorgerufenen Auftriebe der Luft zu rechnen, so ist bei einem ummantelten Heizkörper als Temperatur der zuströmenden Luft diejenige zu setzen, welche die Luft bei Eintritt in die Ummantelung besitzt, bei einem frei stehenden Heizkörper dagegen die auf die Höhe desselben bemessene mittlere Temperatur der Raumluft in Ansatz zu bringen, da dem Heizkörper in jeder Höhenlage seitlich Luft zuströmt. Bei Heizkörpern, die in dem zu erwärmenden Raume selbst stehen, ist somit genügend, einfach die geforderte Raumtemperatur, bei Luftheizkammern dagegen die mittlere Temperatur zwischen der ein- und abströmenden Luft in Rechnung zu ziehen.

In der Praxis werden mitunter noch kleine Abweichungen von den in der Tabelle 13 angegebenen Werthen, bedingt durch örtliche Verhältnisse, anders geformte Heizkörper u. s. w., die selbstverständlich nicht alle in die Versuche aufgenommen werden konnten, erforderlich sein — für diese sind die vorerwähnten Mittheilungen zu beachten.

Digitized by Google

Aus den Versuchsergebnissen geht hervor, dass die zur Zeit in der Praxis üblichen Annahmen vielfach eine Steigerung erfahren können, oftmals aber auch zu hoch bemessen sind — das erstere gilt hauptsächlich für Rohrheizfläche, das letztere für Rippenheizfläche.

3. Bestimmung der Heizflächen in der Praxis.

Nach dem unter 1 und 2 dieses Kapitels Gesagten benutze man für die Berechnung aller Wärmerecipienten (Kessel), sowie für alle Feuerheizkörper, auch für eine Heisswasserheizung je nach den obwaltenden Verhältnissen eine der folgenden Gleichungen:

a) Parallelstrom:

$$F_p = \frac{W}{k\,(t' - t_1 - t'' + t_2)}\; ln\, \frac{t' - t_1}{t'' - t_2}, \qquad (117)$$

b) Gegenstrom:

$$F_g = \frac{W}{k\,(t' - t_2 - t'' + t_1)}\; ln\, \frac{t' - t_2}{t'' - t_1}, \qquad (118)$$

c) Einstrom:

$$F_{e_1} = \frac{W}{k\,(t_2 - t_1)}\; ln\, \frac{t - t_1}{t - t_2}, \qquad (119)$$

d) Einstrom:

$$F_{e_2} = \frac{W}{k\,(t' - t'')}\; ln\, \frac{t' - t_0}{t'' - t_0}, \qquad (120)$$

e) bei geringen Temperaturunterschieden und langsamer oder unbestimmter Bewegung:

$$F = \frac{W}{k\left(\frac{t' + t''}{2} - \frac{t_1 + t_2}{2}\right)}, \qquad (121)$$

f) für alle Wasser- oder Dampfheizkörper zur Erwärmung von Räumen:

$$F = \frac{W}{k\left(\frac{t' + t''}{2} - t_z\right)}. \qquad (122)$$

In den Gleichungen bedeutet:

F (mit oder ohne Index) die (Wärme abgebende) Heizfläche in qm,
W die stündliche Wärme-Abgabe der Heizfläche in *WE*,
t' bezw. t'' die Anfangs- bezw. Endtemperatur der Wärme abgebenden Flüssigkeit,
t die Temperatur der Wärme abgebenden Flüssigkeit, falls $t' = t''$ zu setzen ist,

Digitized by Google

t_1 bezw. t_2 die Anfangs- bezw. Endtemperatur der Wärme aufnehmenden Flüssigkeit,

t_0 die Temperatur der Wärme aufnehmenden Flüssigkeit, falls $t_1 = t_2$ zu setzen ist,

t_s die Temperatur der zu dem Heizkörper strömenden Luft (für diese siehe auch die Bemerkung auf S. 179),

k den Transmissionskoefficienten.

Die Werthe der Transmissionskoefficienten für Wasser, Dampf und Luft an Luft entnehme man der Tabelle 13 unter Berücksichtigung des auf S. 171 u. f. Gesagten, die übrigen sind an der betreffenden Stelle des Textes angegeben.

Beispiele zur Bestimmung der Heizflächen.

Beispiel 1. Aufgabe. Ein Raum durch Wasserheizung auf $+20°$ erwärmt, erfordert 3500 *WE*. Die Eintrittstemperatur des Wassers in den Heizkörper, für den ein Radiator anzunehmen ist, beträgt 85°, die Austrittstemperatur 65°.

Lösung der Aufgabe. Die mittlere Temperatur des Wassers im Heizkörper stellt sich zu $\frac{85+65}{2} = 75°$, die Temperatur der Wärme aufnehmenden Luft zu 20°, somit ist für einen Temperaturunterschied von $75 - 20 = 55°$ nach Tabelle 13, I, da jedenfalls mehr als 6 Elemente für den Radiator erforderlich werden, $k = 5{,}5$ zu nehmen. Hat ein Element 0,5 qm Heizfläche, so ist somit ein Radiator von $\frac{3500}{5{,}5 \cdot 55 \cdot 0{,}5} = 24$ Elementen nöthig.

Beispiel 2. Aufgabe. Ein Raum durch Luftheizung auf $t = +20°$ erwärmt, erfordert bei $-20°$ Aussentemperatur 3500 *WE*; die Luft soll mit $+35°$ eingeführt werden. Die Erwärmung der Luft hat durch Hochdruck-Dampfspiralen zu erfolgen, die Dampfspannung beträgt 1,5 Atm. absol.

Lösung der Aufgabe. Der Temperaturunterschied zwischen der ein- und abzuführenden Luft beträgt $35 - 20 = 15°$. Nach Tabelle 5 ist somit ein Luftwechsel von $\frac{233{,}8 \cdot 3500}{1000} = 818$ cbm erforderlich. Die Heizfläche hat alsdann nach Tabelle 3, da $t = +20°$, $t_0 = -20°$, die Eintrittstemperatur der Luft $t' = +35°$, also $t' - t_0 = 35 - (-20) = 55$ ist, $W = \frac{15680{,}5 \cdot 818}{1000} = 12827\ WE$ zu liefern. Die Rohrspiralen befinden sich in der Heizkammer in einer mittleren Lufttemperatur von $\frac{35+(-20)}{2} = 7{,}5°$, die mittlere Dampfspannung in den Spiralen, deren lichter Rohrdurchmesser auf 0,051 m bemessen wird, soll der Sicherheit halber nur mit 107,5°, der Temperaturunterschied zwischen Dampf und zuströmender Luft also mit $107{,}5 - 7{,}5 = 100°$ in Rechnung gezogen werden. Es ist somit nach Tabelle 13, II: $k = 11$ anzunehmen und ergiebt sich eine Heizfläche von $\frac{12827}{11 \cdot 100} = 11{,}66$ qm.

Beispiel 3. Aufgabe. Alles wie in Beispiel 2, nur soll die Luft mittels eines Ventilators durch ein Dampfrohrsystem, bestehend aus Röhren von 33 mm äuss. Durchm. bei 5 mm Zwischenraum senkrecht zu den Röhren hindurchgedrückt werden.

Lösung der Aufgabe. Die Lösung der Aufgabe ist am besten zunächst allgemein zu behandeln. Bezeichnet:

Digitized by Google

L_1 die stündlich zu erwärmende Luftmenge in cbm, ausgedrückt in der mittleren Temperatur der Erwärmung,
W_1 die Wärmemenge, die der Luft behufs ihrer Erwärmung zuzuführen ist, in WE,
F die Heizfläche zur Erwärmung der Luft in qm,
l die Länge der Röhren einer Rohrreihe in m,
u den Umfang eines Rohres in m,
q den freien Querschnitt für den Luftdurchgang von 1 m Rohrlänge in qm,
a die Anzahl der hintereinander liegenden Rohrreihen,
v die sekundliche Geschwindigkeit in m im engsten Querschnitte,
ϑ den Unterschied zwischen der mittleren Dampftemperatur und der mittleren Temperatur der durch die Röhren strömenden Luft,

dann ist der freie Querschnitt einer Reihe Rohre lq, und daher $lqv = \frac{L_1}{3600}$, woraus folgt: $l = \frac{L_1}{3600\,qv}$.

Nun ist ferner: $F = ula$ oder, den Werth für l eingesetzt: $F = \frac{L_1 ua}{3600\,qv}$. Ausserdem muss auch sein: $F = \frac{W_1}{k\vartheta}$. Aus beiden letzten Gleichungen folgt:

$$\frac{v}{k} = \frac{L_1 ua\vartheta}{3600\,W_1 q}.$$

$\frac{v}{k}$ ist nun nach Tabelle 13, III, b zu wählen und alsdann a zu bestimmen oder besser umgekehrt und alsdann aus den vorstehenden Ausdrücken F und l zu berechnen.

Der Aufgabe gemäss ist in dem Raume ein Luftwechsel von $L = 818$ cbm von 20° erforderlich; die von aussen bei — 20° zu entnehmende Luft ist auf + 35° zu erwärmen, wofür im Beispiele 2 die Wärmemenge bereits zu $W_1 = 12827\ WE$ bestimmt wurde. Bei — 20° beträgt die Luftmenge $\frac{818\,(1 - \alpha 20)}{1 + \alpha 20}$, also gemäss Tabelle 2: $818 \cdot 0{,}863 = 706$ cbm, bei + 35°: $818 \cdot 1{,}051 = 860$ cbm. Im Mittel durchströmt das Rohrsystem daher eine Luftmenge von $L_1 = \frac{706 + 860}{2} = 783$ cbm. Wie im vorigen Beispiele beträgt die mittlere Lufttemperatur + 7,5°, die Dampftemperatur 107,5°, somit $\vartheta = 100°$. Der Umfang eines Rohres von 0,033 m äuss. Durchm. ist 0,1037 m und der Zwischenraum der Röhren gemäss der Aufgabe $q = 0{,}005$ m. Somit ergiebt sich:

$$\frac{v}{k} = \frac{783 \cdot 0{,}1037 \cdot a \cdot 100}{3600 \cdot 12827 \cdot 0{,}005} = 0{,}0351\,a.$$

Wählt man 4 Rohrreihen, also $a = 4$, so muss:

$$\frac{v}{k} = 0{,}1404$$

sein, was nach Tabelle 13, III, b erfüllt wird, wenn man $v = 4$ m setzt. Es ist dann $k = 29$ anzunehmen.

Alsdann ergiebt sich:

$$F = \frac{783 \cdot 0{,}1037 \cdot 4}{3600 \cdot 0{,}005 \cdot 4} = 4{,}511\text{ m}, \quad l = \frac{4{,}511}{4 \cdot 0{,}1037} = 10{,}9.$$

Macht man jede Rohrreihe m Meter breit und jedes Rohr n Meter lang, so muss

Digitized by Google

wenn x die Anzahl der Röhren einer Rohrreihe ist, da der äussere Durchmesser der Röhren 0,033, der Zwischenraum 0,005 betragen soll:

$$(0{,}033 + 0{,}005)\, x = m \quad \text{und} \quad nx = l, \quad \text{also:}$$

$$\frac{m}{0{,}038} = \frac{l}{n}$$

sein. Wählt man im vorliegenden Falle $m = n$, so ist:

$$m = \sqrt{0{,}038\, l}.$$

Da $l = 10{,}9$ ist, so ergiebt sich: $m = n = 0{,}644 \sim 0{,}65$ m.

Würde die doppelte Luftmenge zu erwärmen sein, so ergäbe sich ebenfalls für 4 Rohrreihen bei gleicher Rechnung:

$$\frac{v}{k} = 0{,}2808, \quad v = 16 \text{ m}, \quad k = 58, \quad F = 2{,}406 \text{ qm}.$$

Es würde also bei doppelter Luftmenge infolge der gesteigerten Luftgeschwindigkeit eine fast nur halb so grosse Heizfläche erforderlich werden, als bei der einfachen der Aufgabe zu Grunde gelegten Luftmenge; man ersieht also, dass hauptsächlich für grosse Anlagen, die an und für sich Pulsionsbetrieb erfordern, die Druck-Luftheizung von Vortheil ist.

IV. Schutz vor Wärmeabgabe.

Bei allen Heizflächen besteht selbstverständlich das Bestreben, die grösstmögliche zulässige Wärme zu übertragen, bei allen zwischen den Wärme aufnehmenden und Wärme abgebenden Flächen liegenden lediglich dem Wärmetransporte dienenden Theilen einer Anlage (Kanäle, Rohrleitung) dagegen, den Wärmeverlust auf ein möglichst geringes Mafs zu beschränken. In der Praxis schützt man daher diese Theile vor Wärmeabgabe durch Umhüllung mit schlechten Wärmeleitern.

Der Wärmeverlust, mit dem beim Transporte von Luft zu rechnen ist, wird im Kapitel „Luftheizung“ Besprechung finden, der Wärmeverlust beim Transporte von Dampf hat von verschiedenen Experimentatoren Behandlung gefunden. Die nach dieser Richtung bekannt gewordenen Ergebnisse sind nicht immer als einwandsfrei zu bezeichnen, da die Wärmeabgabe von Dampf an Luft vom Niederschlagswasser und von dem vom Dampf mitgerissenen Wasser, das sich meist der Erkenntniss entzieht, insonderheit auch von der Geschwindigkeit des Dampfes beeinflusst wird. Absolute Zahlen über den Wärmedurchgang der in der Praxis verwendeten Wärmeschutzmittel sind zwar sehr erwünscht, meistens wird man aber mit Relativzahlen ausreichen, d. h. mit dem Verhältnisse der Wärmeabgabe zwischen dem bekleideten und unbekleideten Rohre.

Verfasser hat mit einem schwach geneigten Rohre von 8 m Länge und 0,025 m lichtem und 0,033 mm äusserem Durchmesser zahlreiche Versuche über den Durchgang der Wärme aus wärmerem Wasser an Luft unter Verwendung verschiedener Umhüllungen anstellen lassen.

Digitized by Google

Der Durchmesser des Rohres wurde absichtlich nicht grösser gewählt, weil sich bei einem solchen ungleiche Abkühlung im Wasser bemerkbar machte, d. h. die unten fliessende Wasserschicht zeigte alsdann geringere Temperatur als die oben fliessende.

Die Versuche wurden in derselben Weise wie diejenigen mit Wasserheizkörpern ausgeführt, so dass auf diese verwiesen werden kann. Aus dem Unterschiede der Wärmeabgabe des unbekleideten und des bekleideten Rohres ergaben sich die durch Umhüllung des Rohres erzielten Wärmeersparnisse. Dieselben sind naturgemäss wie die Transmissionskoefficienten aller Heizflächen abhängig von der Grösse der Differenz zwischen der mittleren Temperatur des Wassers und der Temperatur der zuströmenden Luft, indessen war bei einer solchen von 50°, 75° und 100° der Unterschied der Wärmeersparniss, ausgedrückt in Procenten der Wärmeabgabe des unbekleideten Rohres so gering, dass derselbe für Verwerthung in der Praxis vernachlässigt werden kann. Es kann somit für ein Rohr die Wärmeersparniss nach folgender Zusammenstellung angenommen werden.

No.	Art der Umkleidung	Wärmeersparniss in Procenten der Wärmeabgabe des unbekleideten Rohres bei einer Umhüllung von:			
		15 mm	20 mm	25 mm	30 mm
1	Strohseil mit Lehm	31	36	40	43
2	Asbest (Schnur aus Asbestklöppelung mit Asbestfaserfüllung)	41	44	46	48
3	Kieselguhr:				
	a) Kieselguhr mit Lederfeilspänen . .	41	43	44	45
	b) Kieselguhr mit Schwammtheilchen, bandagirt und schwarz gestrichen .	52	56	58	60
	c) desgl., nicht bandagirt und nicht gestrichen	57	60	63	65
	d) Asbestschlauch mit Kieselguhrfüllung	54	58	60	61
	e) Aufrollbare Kieselguhr-Rippen-Platten (mit Hohlräumen und Luftschichten)	57	61	63	64
	f) Kieselguhr mit Malzkeimen und Brauereiabfällen, bandagirt und mit Dextrin gestrichen	53	61	67	72
	g) Kieselguhr mit Korktheilchen, nicht bandagirt	65	69	72	74
	h) Kieselguhrschalen	66	70	73	75
	i) Kieselguhr ohne Fremdkörper, cal-				

Digitized by Google

No.	Art der Umkleidung	Wärmeersparniss in Procenten der Wärmeabgabe des unbekleideten Rohres bei einer Umhüllung von:			
		15 mm	20 mm	25 mm	30 mm
	cinirt, d. h. die organischen Bestandtheile verbrannt	68	74	77	80
4	Kunsttuffstein-Schalen	62	67	70	72
5	Korkschalen	56	65	71	76
6	Rohseide:				
	a) Seidenpolster mit Luftschicht. Luftschicht durch reibeisenartige auf das Rohr gewickelte Blechstreifen hergestellt. Die Stärke der Luftschicht etwa 30 % der Gesammtstärke der Umwickelung	73	76	78	79
	b) Seidenpolster ohne Luftschicht in Gestalt eines Leinenschlauches mit Seidenfüllung	73	76	78	79
	c) Seidenzöpfe ohne Luftschicht . .	75	78	80	81
	d) Seide, darunter eine Schicht Kieselguhr:				
	20 % der Umhüllung ist Seide .	72	76	79	80
	40 % „ „ „ „ .	75	78	80	81
	60 % „ „ „ „ .	75	78	80	81
	e) Remanit-(karbonisirte Seide)Zöpfe .	75	78	80	81
	f) Remanit-Polster zwischen weitmaschigem aus dünnem Eisendrahte bestehenden Gewebe	77	80	82	83
7	Filz (weiches, braunes Material) ohne Bandage oder bandagirt und mit Dextrin gestrichen	81	84	86	87

Für wesentlich höhere Temperaturen als 100° werden die Werthe der Ersparniss durch Umhüllung der Rohre eine kleine Steigerung erfahren, dieselbe ist aber um so geringer, je besseren Schutz an sich das Material gewährt. Wenn man ferner bedenkt, dass z. B. für eine Schicht Kieselguhr mit Schwammtheilchen von 20 mm Stärke bei 50° Temperaturunterschied die Wärmeersparniss zu 54 %, bei 100° zu 57 %, für eine Schicht Filz 83,5 % bezw. 84 % gefunden worden ist, so darf man wohl ohne Weiteres auch für grössere Temperaturunterschiede die in der vorstehenden Aufstellung enthaltenen Werthe annehmen.

Digitized by Google

V. Betrieb der Heizungsanlagen.

Die Wärme, die stündlich ein Raum erfordert, ist von den Heizkörpern zu liefern. Dieselben geben die Wärme mittelbar oder unmittelbar an die Raumluft ab, diese erwärmt die Umschliessungskörper. Je geringer die Temperaturunterschiede zwischen Heizkörper und Raumluft einerseits und Raumluft und Umschliessungskörper andererseits sich stellen, je gleichmässiger wird sich, wie bereits erwähnt, die Wärmevertheilung gestalten. Die Temperaturunterschiede werden um so kleiner, je weniger vom Beharrungszustande der Erwärmung abgewichen wird, ununterbrochene Heizung ist daher als die für die Gesundheit beste anzusehen.

Der Aufenthalt in einem erwärmten Raume, dessen Wände viel Wärme aufnehmen (kalte oder nasse Wände), ist um deswillen ungesund und unbehaglich, weil die Wände nur einen geringen Theil der von den Anwesenden durch Strahlung empfangenen Wärme zurückstrahlen. Besonders unangenehm ist daher der Aufenthalt in Räumen mit nassen Wänden im Sommer, da eine Erwärmung der Raumluft nicht möglich ist und somit die Oberflächen der Wände nicht auf höhere Temperatur und nicht in trockneren Zustand gebracht werden können. Das Beziehen neuer Gebäude sollte daher stets im Winter stattfinden.

Die Kosten des ununterbrochenen Betriebs werden, sofern eine besondere Bedienung der Anlage über Nacht nicht erforderlich ist, meist überschätzt, die Anlagekosten aber vermindern sich in dem Mafse, als die erstmalige tägliche Erwärmung der Wände und der gesteigerte Wärmebedarf beim Anheizen für die Grössenbestimmung der Anlage in Wegfall kommen.

Um eine leichte Uebersichtlichkeit und dadurch eine grössere Betriebssicherheit, besonders bei eintretendem Wechsel der Bedienungsmannschaft zu erzielen, empfiehlt es sich, ausser der Anbringung allgemeiner Betriebsvorschriften an geeigneter Stelle, alle Theile einer Anlage, die der besonderen Aufsicht und Handhabung unterliegen, mit Erklärungsschildern zu versehen.

VI. Eintheilung der Heizungsanlagen.

Man unterscheidet in der Praxis:

A. Lokalheizung (Oertliche Heizung),
B. Centralheizung (Fernheizung, Sammelheizung)

und versteht unter Lokalheizung diejenige Heizanlage, bei der die Erwärmung der Räume durch Heizkörper erfolgt, die in den Räumen selbst sich befinden und unmittelbar geheizt werden, gleichgiltig ob die Feuerung selbst innerhalb oder ausserhalb des Raumes liegt;

Digitized by Google

unter Centralheizung diejenige Heizanlage, bei der die Ueberführung der Wärme von dem Heizapparate nach den zu erwärmenden Räumen nicht unmittelbar, sondern durch einen geeigneten Träger der Wärme erfolgt.

A) Lokalheizung.

Diese zerfällt in:

1. Kaminheizung,
2. Ofenheizung,
3. Kanalheizung,
4. Gasheizung.

B) Centralheizung.

Je nach dem Träger der Wärme wird unterschieden:

1. Wasserheizung.

a) Warmwasserheizung. α) Niederdruck-Warmwasserheizung. β) Mitteldruck-Warmwasserheizung.

Die Erstere (unter α) setzt in ihren höchstliegenden Theilen eine mögliche Erwärmung des Wassers bis etwa 90^0, jedenfalls aber nicht über den Siedepunkt, die Letztere eine solche bis etwa 130^0 voraus.

Das Wasser in der Ersteren steht über dem höchsten Punkte der Anlage in freier Verbindung mit der Atmosphäre, dasjenige in der Letzteren dagegen nicht.

Bis auf diesen einen Unterschied sind sich die beiden Systeme im Aeusseren vollkommen gleich, weshalb sie auch gemeinsame Besprechung erfahren werden.

b) Heisswasserheizung. (Nach dem Erfinder auch „Perkinsheizung“ genannt.)

Höchste Wassertemperatur: 150—160^0. (Man unterscheidet noch vielfach Mitteldruck- und Hochdruck-Heisswasserheizung, da dieser Unterschied jedoch nur durch die Annahme der der Berechnung zu Grunde gelegten höchsten Wassertemperatur bedingt ist, die Grenze der Wassererwärmung aber beliebig angenommen werden kann, so ist dieser Unterschied gegenstandslos und in dieser Auflage des „Leitfadens“ weggelassen worden.)

2. Dampfheizung.

a) Hochdruck-Dampfheizung.

b) Niederdruck-Dampfheizung.

Bei der Ersteren wird mit hochgespannten Dämpfen in den Kesseln gearbeitet, bei der Letzteren mit Dämpfen unter 0,5 Atm. Der Hauptunterschied der Anlagen wird weniger durch obige Bezeichnung

Digitized by Google

gegeben, als dadurch, dass die erste concessionspflichtig ist und behördlicher Aufsicht untersteht, die zweite nicht.

3. Dampf-Warmwasserheizung.

Diese ist eine Vereinigung der Dampf- und der Warmwasserheizung, d. h. eine durch Dampf statt durch direktes Feuer betriebene Warmwasserheizung.

4. Dampf-Wasserheizung.

Diese stellt eine Dampfheizung dar, deren Heizkörper ganz oder zum Theil mit Wasser gefüllt sind, das durch den Dampf erwärmt wird.

5. Luftheizung.

Je nachdem ein unmittelbar durch Feuer oder mittelbar durch Wasser bezw. Dampf erwärmter Heizapparat Verwendung findet, wird unterschieden:

a) Feuer-Luftheizung,
b) Wasser- bezw. Dampf-Luftheizung.

Zehntes Kapitel.

Lokalheizung.

(Siehe Tafel VIII, IX und X.)

I. Kaminheizung.

Als älteste Lokalheizung ist das offene Feuer zu nennen, das in Form der Kaminheizung auch heute noch Anwendung findet. In Deutschland wird die Kaminheizung mehr zur Annehmlichkeit, als zu regelmässiger Erwärmung der Räume vorgesehen, daher gewöhnlich in Gemeinschaft mit einem anderen Heizsysteme angeordnet, bei Ofenheizung meist unmittelbar mit dieser vereinigt (Kaminofen). Die Erwärmung der Räume erfolgt durch strahlende Wärme; diese erwärmt die Wände, die Wände erwärmen die Luft, während bei anderen Heizkörpern vorwiegend das Umgekehrte stattfindet (s. a. S. 159). Die strahlende Wärme eines Kaminfeuers ist zu gering, um selbst bei längerem Betriebe die Wände auf grosse Tiefe erwärmen zu können, daher tritt in Räumen mit Kaminheizung nach Einstellen des Heizbetriebs rascher Temperaturabfall ein. Als Vorzug der Kaminheizung muss die mit der Benutzung verbundene kräftige Lüftung der Räume

Digitized by Google

angeführt werden, als Nachtheil die bedeutenden Betriebskosten, da der Nutzeffekt ein geringer ist, sowie die leichte Belästigung der Bewohner durch die strahlende Wärme.

II. Ofenheizung.

(Siehe Tafel VIII, IX, X.)

Die handelsmässige Benennung der Oefen richtet sich nach Zweck, Konstruktion, Material, Form, Bedienung u. s. w.; so giebt es Schul-, Kirchen-, Kasernen-, Krankenhaus-Oefen u. s. w., Spar-, Regulir-, Schütt-Oefen u. s. w., eiserne, thönerne, Porzellan-Oefen, Mantel-, Ventilations-Gesundheits-Oefen u. s. w. Diese ziemlich willkürlichen Benennungen haben häufig dazu beigetragen, die Begriffe zu verwirren und die Wahl eines Ofens für einen besonderen Zweck nicht zu erleichtern, sondern zu erschweren.

In dem Folgenden wird die Eintheilung daher nach der durch die Oefen hervorgerufenen Art und Weise der Erwärmung der Räume erfolgen.

Ein zweckentsprechender Ofen muss neben thunlichster Billigkeit in der Herstellung, einfacher und sicherer Handhabung, sowie Oekonomie im Betriebe, d. h. guter Ausnutzung des Brennmaterials, den hygienischen Anforderungen entsprechen. Er soll somit gleichmässig aber nicht zu hoch erwärmte, vom Staube leicht zu reinigende Flächen besitzen, darf keine zu grosse Höhe haben und muss die meiste Wärme nahe dem Fussboden, keinesfalls erst an seinem oberen Ende abgeben. Senkrechte Flächen sind die besten, wagerechte die ungünstigsten; Vorsprünge, Ornamente und Verzierungen sind wegen der durch sie beförderten Staubablagerungen thunlichst wegzulassen, jedenfalls auf das geringste Mafs zu beschränken. Leider wird dies in der Praxis noch viel zu wenig beachtet und häufig die gefällige Form den hygienischen und heiztechnischen Anforderungen vorangestellt. Eine sichere und leichte Regelung der Verbrennung durch die Aschfall- bezw. Feuerthür ist vorzusehen, eine Regelung durch Einlassen von Luft in den Schornstein zu vermeiden. Vorrichtungen zum Regeln des Abzugs der Verbrennungsgase bei Austritt derselben aus dem Ofen in Gestalt einer Klappe oder eines Schiebers sind in den meisten Städten behördlich verboten, die Einführung von Luft in den Schornstein ist sinngemäss wenig von den verbotenen Regelungsvorrichtungen verschieden, dieselbe sollte daher ebenfalls behördlich untersagt werden. Die Schornsteine haben die Aufgabe, die Rauchgase sicher abzuführen, die Schwächung der Zugkraft ist somit ein Fehler, der unter Umständen verhängnissvolle Folgen haben kann.

Die Wahl eines Ofens hängt von der Bestimmung des Raumes ab, die vorstehenden Forderungen sollten jedoch jederzeit erfüllt werden.

Digitized by Google

Gegenüber der Centralheizung hat die Ofenheizung den Vortheil der Billigkeit in der Anlage, den Nachtheil des umständlicheren und theueren Betriebs, und des Transports der Brennmaterialien und Asche durch die zu erwärmenden Räume. Wenn mitunter die Erzielung grösserer Oekonomie bei Ofenheizung als bei Centralheizung behauptet wird, so beruht dies auf einem Irrthume, der darin seine Begründung findet, dass bei Ofenheizung der Betrieb meist nur auf die jeweilig benutzten Räume ausgedehnt wird, während man bei einer Centralheizung die Annehmlichkeit, alle Räume eines Gebäudes gleichmässig erwärmt zu haben, nur selten entbehren will.

Fehlerhafter Weise wird in der Praxis oftmals der Centralheizung vor der Ofenheizung der Vorzug gegeben, auch wenn die Mittel beschränkte sind und zur sachgemässen Durchführung der Centralheizung nicht genügen. Hiervor kann nicht genug gewarnt werden; die Ausstattung der Räume mit zweckentsprechenden, nicht zu klein bemessenen, den hygienischen Anforderungen genügenden Oefen ist jederzeit einer auf das Nothdürftigste ausgestatteten und nur den Stempel der billigen Herstellung tragenden Centralheizung überlegen.

1. Oefen für schnelles, aber nicht nachhaltiges Erwärmen der Räume.

Das Material für diese Oefen ist Eisen und zwar der grösseren Dauerhaftigkeit halber: Gusseisen

Der älteste und einfachste Ofen ist der sogenannte Kanonenofen, ein einfaches stehendes Rohr, in dem unten auf einem Roste das Feuer liegt und von dem oben die Verbrennungsgase abgeleitet werden. Luftzutritt und Regelung desselben erfolgt durch den verstellbaren Aschekasten. Anwendung können diese Oefen nur für vorübergehende Zwecke finden, da sie den hygienischen Ansprüchen: Vermeiden glühender Flächen, gleichmässige Wärmevertheilung im Raume, geringe strahlende Wärme u. s. w., nicht genügen und ausserdem mangelhafte Ausnutzung des Brennmaterials verursachen.

Aus den Kanonenöfen heraus ist eine ganze Reihe anderer Oefen entstanden. Bessere Ausnutzung des Brennmaterials wird bewirkt durch innere Theilung des Ofens in Feuerzüge, so dass die Gase einen längeren Weg bis zum Schornsteine zurückzulegen haben. Auf S. 161 hat bereits Erwähnung gefunden, dass zur Ausnutzung des Brennmaterials die Richtung der Verbrennungsgase häufig zu ändern ist, damit die abgekühlten und noch nicht abgekühlten Theilchen sich möglichst innig mischen, dass das Brechen des Feuerzugs jedoch das leichte Glühendwerden der Bogen und Kniee bedingt und dass eine Verminderung dieses Uebelstandes durch entsprechende Ausmauerung mit feuerfestem Materiale oder durch Anordnung von Rippen zu erreichen ist. Die Ausmauerung hat den Nachtheil, dass zeitweise Erneuerung derselben stattfinden muss, die Rippen dagegen, dass sie nur in beschränkterem Mafse das Glühen verhindern können.

Digitized by Google

Die Verminderung der strahlenden Wärme wird durch Anordnung von umschliessenden Blechmänteln bewirkt (Mantelöfen), die aber nicht zu einer erschwerten Reinigung der Oefen von Staub führen dürfen.

Der Effekt aller dieser Oefen ist ein wechselnder, da gleichmässige Wärmeabgabe gleichmässige Verbrennung bedingt, letztere aber mit einem einfachen Roste, der häufige Bedienung beansprucht, nicht durchzuführen ist.

Ihre Anwendung ist nur für Zwecke schneller Erwärmung von Räumen vor Benutzung derselben zu empfehlen, d. h. wenn während der Benutzung ein weiterer Heizbetrieb nicht stattzufinden hat, oder für untergeordnete Räume.

Um endlich auch die Bedienung zu vereinfachen und ein gleichmässiges Verbrennen zu erzielen, hat man Vorrichtungen zur genauen Regelung des Zugs angebracht (Reguliröfen) und dadurch allerdings eine grössere Verwendbarkeit der Oefen hervorgerufen.

2. Oefen für schnelles und nachhaltiges Erwärmen der Räume.

Diese Oefen bestehen meist zum Theile aus Gusseisen, zum Theile aus gebranntem Thone. Der gusseiserne Theil dient zur raschen Erwärmung des Raumes, der thönerne Theil zur Wärme-Aufspeicherung.

Die Konstruktion ist eine mannigfaltige. Entweder besteht der Feuerraum und häufig noch ein Theil der Feuerzüge aus Gusseisen, der übrige Theil aus Thon, oder auch umgekehrt, oder ein gusseiserner Ofen bildet den Einsatz eines Kachelofens.

Die ersten beiden Sorten von Oefen leisten in der nachhaltigen Erwärmung meist Unbedeutendes, die letzte dagegen hat häufig den Nachtheil, dass die Einsatztheile leicht glühend werden und sich nicht vom Staube reinigen lassen. Diese Fehler, die scharfe Verurtheilung verdienen, werden in der Praxis leider viel zu wenig beachtet.

3. Oefen für langsames und nachhaltiges Erwärmen der Räume.

Das Material dieser Oefen ist meist Thon. Diese Oefen, unter dem Namen Kachel-, auch Berliner Oefen bekannt, finden grosse Verwendung. Dieselben sind aus dem russischen bezw. schwedischen Ofen hervorgegangen (der erstere ist viereckig, der letztere rund), deren Thonkacheln 20 cm stark sind und deren Züge senkrecht steigen und fallen.

Der Berliner Ofen besteht aus meist glasirten Kacheln von ca. 21 cm Breite und 24 cm Höhe bei 1—2 cm Dicke. Die Farbenreinheit der Kacheln wurde früher durch die sogenannte „Wahl“ bestimmt, doch ist man von dieser abgekommen. Es empfiehlt sich vor

Digitized by Google

Bestellung eines Ofens die Einforderung von Probekacheln. Kacheln mit Fehlstellen heissen „bunte Kacheln".

Die Oefen haben den Vorzug grosser Sauberkeit, den Nachtheil, dass bis zur Erzielung der vorschriftsmässigen Wärme in dem betreffenden Raume mehrere Stunden vergehen. Der Betrieb ist nach verhältnissmässig kurzer Zeit einzustellen, da die Warmhaltung der Räume durch die im Ofenmateriale aufgespeicherte, allerdings nicht mehr regelbare Wärme gesichert wird. Damit nach Einstellung des Betriebs möglichst wenig Wärme nach dem Schornsteine entweichen kann, werden die Oefen mit hermetisch schliessenden Thüren versehen.

Ein Uebelstand fast aller Kachelöfen besteht darin, dass der Unterbau derselben gar nicht oder in sehr geringem Mafse an der Erwärmung Theil nimmt, somit die Forderung der Wärme-Abgabe unmittelbar über Fussboden alsdann keine Erfüllung findet.

Die Oefen sind anzuwenden für Räume, in denen der Wärmebedarf ein gleichmässiger ist und sich nicht viel Menschen aufzuhalten haben (Wohnräume u. s. w.). Durch Einbau eines Kamins in dieselben lässt sich durch Benutzung desselben der Fehler mangelhafter Wärmewirkung während der ersten Betriebsstunden einigermassen ausgleichen.

4. Oefen für Dauerbetrieb (Dauerbrandöfen).

Das Material dieser Oefen ist behufs schneller Wärme-Abgabe Gusseisen. Der ununterbrochene Betrieb wird ohne Inanspruchnahme wesentlicher Bedienung durch einen Vorrath von Brennmaterial gesichert, das allmählich und nach Bedarf zur Verbrennung gelangt (Schüttöfen, Füllöfen). Der ununterbrochene Betrieb gewährt die Möglichkeit einer Vermeidung überhitzter Flächen, wie sie bei unterbrochenem Betriebe nicht erzielt werden kann.

Die Oefen werden vortheilhaft mit Korbrosten nach amerikanischem Muster versehen, die den grossen Vorzug haben, dass das zur Verwendung kommende Brennmaterial nicht an den Wandungen der Oefen anliegt, dieselben daher vor dem Glühendwerden schützen.

Die amerikanischen Oefen (Crownjewel etc.) sind für Anthracitfeuerung eingerichtet und für anderes Brennmaterial ungeeignet, was bei Beurtheilung dieser sonst recht gut konstruirten Oefen in Betracht zu ziehen ist. Backendes Brennmaterial ist überhaupt bei allen Dauerbrandöfen auszuschliessen.

Im Allgemeinen ist zu sagen, dass diejenigen Oefen den Vorzug verdienen, bei denen das Brennmaterial vor Verbrennung vorgewärmt und die hauptsächlichste Wärme-Abgabe am unteren Theile des Ofens bewirkt wird. Fallende Züge dürfen jedoch keine zu grosse Höhe besitzen, da sonst bei nicht sehr kräftiger Wirkung des Schornsteins Rauchgase aus dem Ofen nach dem Zimmer treten können.

Digitized by Google

Aus den gleichen Gründen sind grössere Heizflächen als unbedingt erforderlich bei Dauerbrandöfen nicht zu empfehlen. Je grösser die Heizflächen sind, um so mehr muss bei verhältnissmässig hoher Aussentemperatur, also geringem Wärmebedürfnisse, der Heizbetrieb durch Verminderung des Luftzutritts zum Brennmateriale beschränkt werden. Die Temperatur der abziehenden Gase kann dann mitunter bei Schornsteinen, die der Abkühlung in besonderem Mafse ausgesetzt sind, zur Erzeugung des erforderlichen Zuges nicht mehr genügen; ein Verlöschen des Feuers, unter Umständen aber auch ein Rücktritt der Heizgase nach dem Zimmer ist dann unvermeidlich.

Im Uebrigen haben die auf S. 189 angeführten Bedingungen Erfüllung zu finden.

5. Oefen zur Erwärmung und gleichzeitigen Lüftung der Räume.

Bei diesen Oefen, die meist im Handel unter dem Namen „Ventilationsöfen“ geführt werden, ist zu unterscheiden, ob sie nur die einzuführende Luft erwärmen, oder nur für Ableitung von Luft sorgen oder für beide Fälle gleichzeitig geeignet sein sollen. Für Vorwärmung der Zuluft kann jeder Ofen dienen, der von einem Mantel umgeben ist oder in dem Kanäle (Röhren) zum ungehinderten Durchströmen der Luft eingebaut sind.

In der Praxis wird mit diesen Mantelöfen für Zwecke der Lüftung häufig geradezu Unfug getrieben, denn meist umschliesst der Mantel den Ofen so eng, dass viel zu wenig Luft hindurch fliessen kann, die geringe Menge Luft aber alsdann mit sehr hoher Temperatur austreten muss.

Auch jeder Kachelofen kann zur Vorwärmung der Luft ohne Mühe eingerichtet werden. Sofern Oefen für Erwärmung der Zuluft Anwendung finden sollen, ist stets durch besondere Abluftkanäle, die am besten neben die betreffenden Schornsteine gelegt werden, für eine regelmässige Lüftung zu sorgen.

Die Oefen, die lediglich für Ableitung der Luft sorgen, führen in den meisten Fällen die Abluft den Schornsteinen zu. Es ist dies als ein Fehler zu bezeichnen, der bereits auf Seite 126 und 189 gebührende Würdigung gefunden hat.

Im Allgemeinen sind überhaupt die Oefen für Erwärmung der Zuluft denjenigen für Erwärmung der Abluft vorzuziehen, weil bei letzteren Unterdruck in den Räumen hervorgerufen wird.

Ventilationsöfen, die gleichzeitig die Erwärmung von Zu- und Abluft bewirken können, kommen verhältnissmässig nur wenig in der Praxis vor, verdienen aber naturgemäss das grössere Interesse.

6. Grössenbestimmung der Oefen.

Eine Berechnung der Oefen, die Anspruch auf Genauigkeit macht, ist kaum durchzuführen und für die Praxis auch nicht erforderlich.

Digitized by Google

Jeder Ofen lässt sich durch starken Betrieb in seiner Wärme-Abgabe wesentlich steigern, so dass schon ein grosser Missgriff vorliegen muss, wenn ein Zimmer durch einen Ofen zu wenig Wärme erhält.

Dies hat dahin geführt, lediglich die Ofengrössen nach dem Kubikinhalte der Räume zu bestimmen. Dies ist ein arger Fehler, der bei Räumen mit grossem Wärmebedarfe zu einer ungebührlichen und die Oekonomie schädigenden Ueberanstrengung der Oefen oder überhaupt zu einem Verzichten auf genügende Erwärmung führen kann. Besonders bei Kachelöfen findet man oft eine prachtvolle äussere Ausstattung und einen ungenügenden Effekt. Falsch angebrachte Gutmüthigkeit oder auch Unverstand der Ofenbesitzer entschuldigt häufig diesen Fehler mit dem Hinweise auf das „schwer heizbare" Zimmer. Rücksichtsloses Vorgehen gegen den Lieferanten eines im Effekte ungenügenden Ofens würde am sichersten eine Besserung solcher Missstände herbeiführen. Es sollten die Fabrikanten, wie dies ja auch in neuerer Zeit mitunter geschieht, ihre Oefen bei geschontem Betriebe auf ihre Wärme-Abgabe prüfen und die Ergebnisse in ihr Preisverzeichniss aufnehmen.

Für eiserne Oefen bei unterbrochenem Betriebe kann für einen qm glatter Ofenfläche eine stündliche Wärme-Abgabe von etwa 2500 *WE*, für ebensolche bei ununterbrochenem Betriebe 1500—2000 *WE* gerechnet werden. Der Werth der glatten zur gerippten Heizfläche von gleicher Grundfläche beträgt etwa 1 : 1,25.

Für Kachelöfen ist die stündliche Wärme-Abgabe zu ungefähr 500—600 *WE* in Ansatz zu bringen.

III. Kanalheizung.

(Siehe Tafel X.)

Anordnung und Berechnung.

Unter dieser Heizung wird ein horizontaler oder ansteigender, in dem zu erwärmenden Raume liegender Kanalzug verstanden, durch den die Verbrennungsgase hindurchströmen.

Dieser Kanalzug kann gemauert oder aus Gusseisen hergestellt sein; er kann frei im Raume oder in mit Gitter abgedeckten Fussbodenkanälen liegen. Die erstere Art wird häufig bei Gewächshäusern, die zweite mitunter bei Kirchen angewendet. In letzterem Falle lege man die Kanalzüge möglichst in die Aussenwände und führe die zu erwärmende, besonders die an den Fenstern herabsinkende Luft zwangsläufig unter die gusseisernen Heizflächen.

Da meist dem Kanalzuge eine nur geringe Steigung gegeben werden kann, ist bei langer Ausdehnung am Fusse des Schornsteins die Anordnung eines sogenannten Lockfeuers nöthig, das beim

Digitized by Google

Anheizen und bis zur Erwärmung des Schornsteins in Benutzung bleibt.

Um die Erwärmung des Schornsteins während des Betriebes der Anlage genügend zu sichern, ist die Temperatur der in den Schornstein tretenden Rauchgase nicht unter 300° anzunehmen. Für derartige Fälle empfiehlt es sich, eine genaue Berechnung des Schornsteins anzustellen (s. S. 129).

Sofern der Kanalzug unter Fussboden liegt, ist Vorsorge zu treffen, dass durch die Gitter kein Staub und sonstige Körper auf die heissen Röhren fallen kann. Unmittelbar über den Röhren sind daher Fangschalen anzuordnen, oder es sind an diesen Stellen statt durchbrochener undurchbrochene Abdeckplatten zu wählen. Auf die durch die Erwärmung bedingte Ausdehnung der Röhren ist Rücksicht zu nehmen und dafür Sorge zu tragen, dass trotz der hierdurch erforderlichen Beweglichkeit der Röhren ein Austreten von Rauchgasen durch die Dichtungen nicht erfolgen kann.

Die Berechnung der Länge des Kanalzugs oder, wenn mehrere von einer Feuerung abgehen müssen, der Kanalzüge, erfolgt unter Annahme der Querschnitte, die in Summa mindestens gleich der freien Rostfläche sein sollen, nach Maſsgabe der Gleichung (120) für Einstromfläche. Die Temperatur der die Feuerung verlassenden Verbrennungsgase kann bei Steinkohlen zu 1200° angenommen, die mittlere Temperatur der an den Kanalzügen erwärmten Luft muss geschätzt werden.

Beispiel zur Berechnung einer Kanalheizung.

Aufgabe. Es soll eine Kirche mit gemauerter Decke von 15 m lichter Höhe, deren Fensterflächen (einfaches Glas) 110 qm, deren Wand-, Fussboden-, Decken- und Säulenflächen 2740 qm betragen, durch eine Kanalheizung erwärmt werden. Die niedrigste Aussentemperatur ist zu $-20°$, die verlangte Innentemperatur zu $+12°$, die Innentemperatur bei Beginn des Anheizens zu 0°, die Anheizdauer zu 6 Stunden anzunehmen. Nach Massgabe der baulichen Verhältnisse darf die grösste Länge eines Heizrohrzuges, der aus Gusseisen hergestellt werden soll, 35 m nicht überschreiten.

Lösung der Aufgabe. **a) Bestimmung der zur Erwärmung stündlich erforderlichen Wärmemenge.** Nach Gl. 109 ist die stündlich erforderliche Wärmemenge zu setzen, wenn der Transmissionskoefficient für einfaches Glas $k = 5{,}3$ genommen wird:

$$W = \frac{110 \cdot 5{,}3 \left\{ 12 - (-20) \right\}}{2} + 2740 \left\{ 40 + \frac{10\,(12 - 0)}{6} \right\} = 173\,728.$$

Da die Höhe der Kirche 15 m beträgt, so ist noch ein Zuschlag von $(15 - 12)\,5 = 15\,\%$ zu machen, so dass die gesammte in Rechnung zu stellende Wärmemenge $\sim 200000\ WE$ beträgt.

b) Bestimmung der Fläche, Anzahl und Länge der Rohrzüge. Nimmt man gerippte Heizfläche und die Wärme-Abgabe eines Quadratmeters derselben im

Digitized by Google

Mittel zu 1500 WE an (s. Luftheizung), so ist eine Heizfläche von $\frac{200000}{1500} = 133{,}3$ qm erforderlich.

Wählt man für die Rohrzüge oblongen Querschnitt von einer lichten Weite von $0{,}34 \times 0{,}24$ m, so möge das laufende Meter 2 qm Heizfläche besitzen und ist somit ein Rohrzug von $\frac{133{,}3}{2} = 66{,}7$ m Länge erforderlich. Da die grösste Länge eines Rohrzuges indess nicht mehr als 35 m betragen darf, sind zwei Rohrzüge von je $33{,}35 \sim 34$ m anzunehmen.

IV. Gasheizung.

1. Anwendung der Gasheizung.

Die Heizung mit gewöhnlichem Leuchtgase hat in den letzten Jahren vielfache Anwendung gefunden, die Urtheile über dieselbe gehen zur Zeit jedoch noch aus einander. Unbestritten ist die Gasheizung im Betriebe wesentlich theurer als — mit Ausnahme der elektrischen Heizung — jedes andere Heizsystem, da die nutzbare Wärme von 1 cbm Gas ungefähr gleich derjenigen von 1 kg Steinkohle gesetzt werden kann. Ihre Anwendung bleibt daher hauptsächlich auf solche Fälle beschränkt, bei denen entweder die Betriebskosten keine Rolle spielen oder bei denen gleichzeitig die Erzeugung des Gases mit in Frage kommt. So verdient in letzter Beziehung beispielsweise die Gasheizung unbedingt bei städtischen Gebäuden (Schulen u. s. w.) Beachtung, wenn das Gaswerk des Orts im Besitze der Stadt sich befindet und diese sich somit das Gas zum Selbstkostenpreise rechnen kann. Ferner ist die Gasheizung für Beheizung selten benutzter Räume häufig zu empfehlen, besonders auch dann, wenn keine Centralheizung angelegt, gleichwohl aber der Transport des Brennmaterials und der Asche durch die zu erwärmenden Räume vermieden werden soll.

Die grossen Vorzüge, welche die Gasheizung in ihrer Sauberkeit, in der leichten Regelung der Wärme-Erzeugung, in dem sofortigen Eintritte des Beharrungszustandes der Verbrennung besitzt, werden von keinem anderen Heizungssysteme erreicht, dagegen sind als Nachtheile ausser der Theuerkeit des Betriebs die hohe Erwärmung der Heizflächen und die Möglichkeit einer Explosion bei leichtfertiger Handhabung oder ungenügender Ueberwachung zu bezeichnen.

Das Gas verschiedener Orte zeigt zwar entsprechend der Beschaffenheit der Kohle, aus der es gewonnen, in seiner Heizkraft und Zusammensetzung einige Unterschiede, doch können diese nicht den Grund bilden, dass sich die Gasheizung nur zum Theile bewährt hat — derselbe ist wohl in der Konstruktion der Gasöfen zu suchen.

Digitized by Google

2. Konstruktion der Gasöfen.

Bei dem hohen Preise des Gases muss auf eine besonders gute Wärme-Ausnutzung gesehen werden. Die Verbrennungsprodukte in den zu erwärmenden Raum treten zu lassen, empfiehlt sich keinesfalls, nicht nur wegen des Geruchs, sondern auch wegen der schädlichen Einwirkung derselben auf die Gesundheit. Auch die im Raume befindlichen Gegenstände können leiden, besonders bei seltnerem Heizbetriebe, da sich alsdann das im Rohgase enthaltene Wasser gemeinsam mit den Säuren der Verbrennungsgase (schweflige Säure, Schwefelsäure) an den kalten Körpern (Wänden) niederschlagen und Zerstörungen herbeiführen kann. Beispielsweise wird Marmorbekleidung durch die Abgase sehr leicht angegriffen. Jederzeit ist daher bei einer gut angelegten Gasheizung für Schornsteine Sorge zu tragen, die vor Abkühlung gut bewahrt werden müssen und keinen grösseren Querschnitt erhalten sollen, als dass sie für den ungünstigsten Fall genügen.

Das Gas kann ohne Unterschied in der Wärme-Erzeugung mit leuchtender oder unter vorheriger Zumischung von Luft mit nicht leuchtender Flamme verbrannt werden. Das erstere ist vorzuziehen, da nicht leuchtende Flammen leichter versagen, nur ist bei leuchtender Flamme darauf zu achten, dass sie nicht die Flächen des Gasofens berühren.

Die Heizkörper sind aus Eisen herzustellen, Vorrichtungen an denselben zur Aufspeicherung der Wärme nicht vorzusehen. Es giebt im Handel Gas-Wasserheizkörper oder ähnliche dem Zwecke der Wärme-Aufspeicherung dienende Konstruktionen, dieselben beruhen auf einer vollkommenen Verkennung der Vortheile der Gasheizung.

Die Verbrennungsgase dürfen aus ökonomischen Gründen nicht mit zu hoher Temperatur, aus Gründen sicherer Ableitung nicht mit zu niedriger Temperatur in den Schornstein entweichen. Als untere Grenze sind etwa 100^0, als obere 150^0 anzunehmen. Der Fehler der meisten Gasöfen, die sich nicht bewährt haben, beruht in dem Umstande, dass die Einhaltung dieser Temperaturen bei dem grössten Wärmebedarfe, zu niedrige Temperaturen bei dem geringsten Wärmebedarfe bedingt und infolgedessen einestheils die Schornsteine ihren Dienst versagen können, anderntheils sich Niederschlagswasser bildet und dieses im Vereine mit den Säuren eine rasche Zerstörung des Heizkörpers herbeiführt. Wenn die Verbrennungsgase eines Gasofens bei jedem Wärmebedarfe eines Raumes die angegebenen Temperaturgrenzen weder über- noch unterschreiten sollen, so ist dies dadurch zu erreichen, dass der Gasofen aus gleichwerthigen für sich und unabhängig von einander betriebsfähigen Elementen zusammengesetzt, also in Gestalt eines Gliederofens konstruirt wird. Mit Ausserbetriebsetzung eines Elementes darf auch — um den Schornstein in seiner

Digitized by Google

Zugkraft nicht zu beeinträchtigen — keine Luft mehr durch dasselbe strömen können. Die Verbindung mit dem Schornsteine muss eine derartige sein, dass das in demselben sich bildende Niederschlagswasser nicht in den Gasofen zurückfliessen kann. Der Schornstein selbst ist aus glasirten Thonröhren herzustellen, dieselben sollen aber nicht in fester Verbindung mit dem Mauerwerke stehen. Bei Einführung der Abgase in einen gewöhnlichen Schornstein, also in einen einfachen im Mauerwerke ausgesparten Kanal, ist die Durchnässung des Mauerwerks von dem Niederschlagswasser zu befürchten.

Ein jeder Gasofen muss grösstmögliche Sicherheit gegen Explosionsgefahr bieten; zu diesem Zwecke soll die Entflammung des Gases durch unabhängige, während des Betriebs beständig brennende Zündflammen erfolgen, so dass der Gaszufluss zum eigentlichen Brenner beliebig geändert, auch zeitweilig unterbrochen werden kann, ohne ein erneutes Entzünden der Zündflammen erforderlich zu machen.

Empfehlenswerth ist bei Austritt der Verbrennungsgase aus dem Heizkörper die Anwendung einer Gasflamme zum Anwärmen des Schornsteins nach längerer Unterbrechung des Betriebs.

3. Grössenbestimmung der Gasöfen.

Je nach der Beschaffenheit des Gases kann man auf eine nutzbare Wärme-Erzeugung von 4000—5000 *WE* für das cbm rechnen. Bei der geforderten Ableitung der Produkte nach einem Schornsteine sind von den gegebenen Werthen 10—12% in Abzug zu bringen.

Nach den dem Verfasser gemachten Mittheilungen der städtischen Gaswerke kann man bei dem Berliner Leuchtgase mit einer Dichtigkeit von 0,433, und wenn die Verbrennungsprodukte unmittelbar in den zu erwärmenden Raum eintreten würden, mit einer Wärmemenge von 4800 *WE* rechnen. 1 cbm Berliner Leuchtgas gebraucht zur vollkommenen Verbrennung 5,079 cbm Luft, giebt alsdann 5,782 cbm Verbrennungsgase mit einer specifischen Wärme bei konst. Vol. von 0,199. Die theoretische Verbrennungstemperatur ist hierbei 3770°.

Die Wirkung der Heizfläche eines Gasofens ist, abgesehen von der Gasmenge, die zur Verbrennung gelangt, abhängig von ihrer Gestalt; jede Fabrik hat die Heizkraft ihrer Gasöfen und den erforderlichen Gasdruck anzugeben und für erstere, sowie für die geforderte Temperatur der abziehenden Verbrennungsprodukte Gewähr zu leisten.

Digitized by Google

Elftes Kapitel.

Warmwasserheizung.

I. Allgemeine Anordnung und Anwendungsgebiet.

Jede Wasserheizung besteht aus der Feuerungsanlage mit den Wärme aufnehmenden Heizflächen, aus einem Rohrsysteme für Beförderung des Wassers und aus den Wärme abgebenden Heizflächen.

Werden 2 mit Wasser gefüllte aufsteigende Rohrzüge oben und unten mit einander verbunden und dem einen Rohrzuge an einer Stelle Wärme zugeführt, dem andern an einer höher liegenden Stelle Wärme entzogen, dann stehen die beiden Wassersäulen infolge des durch die Erwärmung bezw. Abkühlung hervorgerufenen Unterschieds der Dichtigkeit nicht mehr im Gleichgewichte und es muss ein Fallen der abgekühlten und ein Steigen der erwärmten Wassersäule eintreten. Bleibt die Wärme-Zuführung und -Ableitung eine beständige, so wird auch eine fortdauernde Bewegung des Wassers in dem gesammten Rohrzuge stattfinden.

Je grösser die senkrechte Entfernung zwischen den beiden vorerwähnten Stellen ist, um so grösser gestaltet sich die Druckdifferenz der beiden Wassersäulen und um so schneller wird an und für sich die Bewegung des Wassers vor sich gehen.

Bei der Wasserheizung findet nun zwar die Wärme-Aufnahme und Wärme-Abgabe nicht an einer Stelle statt, indessen ist es zulässig, diese Vorgänge sich in eine mittlere Ebene der betreffenden Heizflächen verlegt zu denken. Die Lage der Wärme abgebenden Heizflächen ist nach Massgabe der zu erwärmenden Räume bestimmt, es empfiehlt sich daher stets die Wärme aufnehmenden Heizflächen möglichst tief, d. h. im Kellergeschosse unterzubringen.

Ein Wasserheizungssystem kann dem Gesagten zufolge aus einer in sich geschlossenen Rohrleitung bestehen. Alsdann ist der für die Wärme-Aufnahme bestimmte Theil in irgend einer Form aufzuwinden und dem Feuer auszusetzen, der für die Wärme-Abgabe bestimmte Theil beliebig in dem betreffenden Raume anzuordnen.

Bei Warmwasserheizung ist die Möglichkeit, die Wärme aufnehmende Heizfläche in der angedeuteten Weise auszubilden, im Hinblicke auf die erforderliche Grösse derselben nur bei kleinen Anlagen möglich (z. B. bei Erwärmung eines einzelnen Raumes), während die Wärme abgebende Heizfläche in Form von einfacher Rohrleitung in der Praxis öfter und dann Verwendung findet, wenn dieselbe bequem und ohne Störung für die Benutzung des betreffenden Raumes angeordnet werden kann (Gewächshäuser). In den meisten Fällen jedoch

Digitized by Google

werden die Heizflächen als eine Erweiterung des Rohrstrangs (Heizkessel bezw. Heizkörper) ausgebildet und somit die Möglichkeit geschaffen, auf kleinem Raume eine grosse Heizfläche unterzubringen. Es ist nun nicht erforderlich, für jeden zu erwärmenden Raum ein in sich geschlossenes System anzuwenden, sondern es kann für eine grosse Anzahl Räume ein Heizkessel und für Leitung des Wassers von dem Kessel nach den Heizkörpern und von diesen zurück nach dem Kessel zum Theile gemeinsame Rohrleitung angeordnet werden.

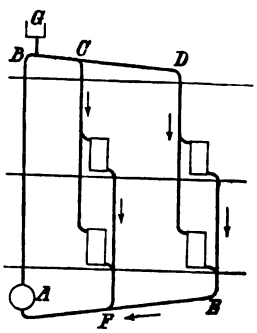


Fig. 37.

Die in der Praxis gebrauchten Anordnungen gehen aus den folgenden Figuren hervor.

In Fig. 37 wird das gesammte Wasser vom Kessel *A* erst vermittelst des Steigerohres *AB* bis zum höchsten Punkte der Anlage und von dort aus durch ein Vertheilungsrohr *BCD* nach den einzelnen Fallsträngen *DE*, *CF* geleitet. Diese führen das Wasser durch die Heizkörper hindurch nach dem Sammelrohre *EFA*, das mit dem tiefsten Punkte des Kessels in Verbindung steht.

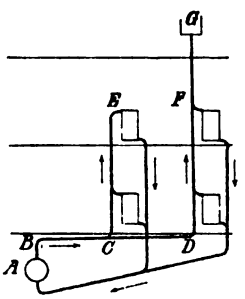


Fig. 38.

In Fig. 38 liegt das Vertheilungsrohr *BCD* unterhalb der Heizkörper und führen die Steigestränge *CE*, *DF* den Heizkörpern das warme Wasser zu.

Beide Anordnungen geben die Möglichkeit, jeden einzelnen Heizkörper unabhängig von den anderen durch Ventile von dem Wasserumlaufe auszuschalten; die Ventile verbinden die Heizkörper mit der Rohrleitung, die Ausschaltung befindet sich also in den erwärmten Räumen.

Naturgemäss kann auch von dem Kessel aus nach jedem Heizkörper und von diesem aus nach dem Kessel ein besonderes Rohr gelegt werden; in der Praxis findet indess diese Anordnung, da sie theuer und nur in vereinzelten Fällen wünschenswerth ist, selten Anwendung. Häufiger dagegen wird gemeinsame Zuleitung bis zu den Heizkörpern, wie in den Fig. 37 und 38 angegeben, und für jeden Heizkörper getrennte Rückleitung gewählt. Der Zweck dieser Anordnung besteht in der dadurch erzielten Möglichkeit, die Ventile behufs Ausschaltung der Heizkörper von dem Wasserumlaufe aus den zu erwärmendeu Räumen heraus, etwa nach dem Keller zu verlegen.

Es kommt in der Praxis auch noch eine andere Anordnung, d. h. eine Vereinigung des Zu- und Rücklaufstrangs für die über einander

Digitized by Google

liegenden Heizkörper vor, wie Fig. 39 zeigt. Auch bei dieser ist die Ausschaltung jedes einzelnen Heizkörpers möglich, aber die Temperaturen des Wassers in den Heizkörpern stehen in Abhängigkeit von einander — die Anordnung verdient daher keine sonderliche Empfehlung; sie wird angewendet, wenn besondere Sparsamkeit erforderlich ist oder wenn die Rohrleitung freiliegend durch die Räume geführt und des bessern Aussehens halber nur ein Rohrstrang angeordnet werden soll.

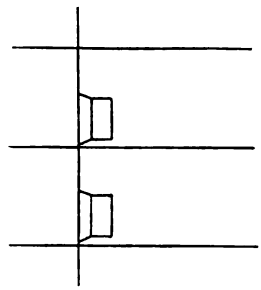


Fig. 39.

Welche von den beiden in Fig. 37 und 38 angeführten Anordnungen anzuwenden ist, muss von Fall zu Fall entschieden werden. Bei der Zuführung des Wassers nach den Heizkörpern von oben her (Fig. 37) wird die Anlage etwas theurer durch das gemeinsame Hauptsteigerohr *AB*; die Wärme, die das Vertheilungsrohr bei ungenügender Umwickelung mit schlechten Wärmeleitern abgiebt, geht, sofern das Rohr auf dem Dachboden liegt, verloren; die Kontrole ist erschwert. Dagegen ist der Vortheil vorhanden, dass im Keller nur die Sammelleitung untergebracht werden muss, vor allen Dingen aber, dass vom Kessel aus das Wasser unmittelbar bis zum höchsten Punkte steigen kann, also sofort die Bewegung desselben in vollkommenster Weise eingeleitet wird. Zu empfehlen ist also die Anordnung immer — sie kann sogar zur Nothwendigkeit werden — wenn sich der Heizkessel in grosser horizontaler Entfernung von dem nächsten Heizkörper befindet und der Keller eine geringe Höhe besitzt. Die Vorzüge und Nachtheile der Anordnung nach Fig. 38 ergeben sich aus dem soeben Gesagten von selbst.

Da die gesammte Anlage einer Warmwasserheizung mit Wasser gefüllt ist und sich das Wasser bei der Erwärmung ausdehnt, muss Vorsorge getroffen werden, dass eine entsprechende Wassermenge aus der Anlage aus- und nach Einstellen des Betriebes wieder in die Anlage eintreten kann. Zu diesem Zwecke wird ein genügend grosses in Fig. 37 und 38 mit *G* bezeichnetes Gefäss — das sogenannte Ausdehnungs- oder Expansionsgefäss — mit dem höchsten Punkte der Anlage verbunden.

Die gesammte Anlage soll durchgängig mit Wasser gefüllt sein, d. h. es darf nirgends zur Vermeidung von Bewegungsstörungen eine Ansammlung von Luft stattfinden.

Als Grundsatz ist daher aufzustellen: Das Wasser hat vom Eintritte in den Kessel ab bis zum höchsten Punkte der Anlage beständig, wenn auch nach den baulichen Verhältnissen in verschiedenem Mafse, zu steigen, von dort ab beständig zu fallen. Muss eine Abweichung hiervon in vereinzelten Fällen (z. B. bei Umgehung eines nicht zu beseitigenden Hindernisses) eintreten, dann ist es stets erforderlich,

Digitized by Google

diejenigen Punkte, an denen sich Luft ansammeln kann, mit Entlüftungsvorrichtungen zu versehen.

Bei Anordnung nach Fig. 37 entweicht die gesammte Luft durch das Ausdehnungsgefäss, bei Anordnung nach Fig. 38 kann Luftansammlung in den obersten, nicht mit dem Ausdehnungsgefässe in Verbindung stehenden Heizkörpern und deren Zulauf stattfinden. Letzterer muss daher ebenfalls mit einer Vorrichtung zum Entlüften versehen werden. Die beste Vorrichtung ist die selbstthätige, d. h. ein einfaches Rohr (Luftleitung), das von dem höchsten Punkte der Rohrleitung abzweigt und mit dem Ausdehnungsgefässe verbunden wird. Die Luftleitungen mehrerer Stränge können selbstverständlich zusammengeführt und durch ein gemeinsames Rohr mit dem Ausdehnungsgefässe verbunden werden. Diese Luftleitungen sind also zweckmässig jederzeit bei Anlagen anzuordnen, bei denen das Vertheilungsrohr unterhalb der Heizkörper sich befindet.

Das Anwendungsgebiet der Warmwasserheizung ist ein umfangreiches. Die grosse specifische Wärme des Wassers bedingt es, dass schon durch Abkühlung von nur 20 bis 30° einer verhältnissmässig geringen Wassermenge eine ziemlich bedeutende Wärmemenge durch Heizkörper an die Luft übertragen wird und die Dichtigkeit des Wassers bei verschiedenen Temperaturen ist unterschiedlich genug, um durch die Druckdifferenz zweier 20 bis 30° verschieden warmer Wassersäulen in ziemlich engen Rohrleitungen verhältnissmässig bedeutende Wassermengen fördern zu können. Da mit der Höhe dieser Wassersäulen der Druckunterschied derselben zunimmt, so ergeben sich die Rohrquerschnitte um so kleiner, je höher die Wärme abgebenden Heizkörper über den aus dem Brennmateriale Wärme aufnehmenden Kessel liegen. Bei genügendem Schutze der das erwärmte Wasser zuleitenden Röhren kann unter Umständen bis 150 m horizontale Entfernung und mehr von einer Kesselanlage der Heizbetrieb ausgedehnt werden. Die Antwort auf die Frage, ob in einem Gebäude ein oder mehrere Heizstellen erforderlich oder vortheilhafter sind, kann nur von Fall zu Fall durch eine Berechnung gegeben werden.

Da ohne Schwierigkeit bei einer Kesselanlage jede gewünschte Wassertemperatur innerhalb der bestimmten Grenzen eingehalten werden kann, so gestattet die Wasserheizung eine generelle Regelung der Wärmeabgabe der einzelnen in den Räumen befindlichen Heizkörper lediglich durch den Heizbetrieb — ein Vortheil, den kein anderes Heizsystem in gleichem Mafse aufzuweisen hat. Auch der bei richtiger Ausführung unbedingt geräuschlose Betrieb der Warmwasserheizung und die fast unbegrenzte Haltbarkeit einer sorgfältig ausgeführten Anlage müssen als besondere Vortheile hervorgehoben werden.

Ein gewisser Nachtheil haftet der Warmwasserheizung infolge der grossen specifischen Wärme des Wassers insofern an, als in dem Er-

Digitized by Google

wärmen und Abkühlen des Wassers eine gewisse Trägheit vorhanden ist. Die Anwendung der Warmwasserheizung als örtliche Heizung ist daher überall da auszuschliessen, wo es sich, wie z. B. bei Versammlungsräumen, Theatern u. s. w. darum handelt, vor Benutzung der Räume über eine schnelle Erwärmung, nach eintretender Benutzung über eine schnelle Abkühlung der Heizkörper zu verfügen. Auch die Gefahr des Einfrierens der Heizkörper bei unachtsamem Betriebe ist als Nachtheil aufzuführen.

Durch richtiges Bemessen des Wasserinhaltes der Heizkörper (s. II dieses Kap.), kann der Fehler der Trägheit in der Erwärmung und Abkühlung des Wassers sehr abgeschwächt, vielfach unfühlbar gemacht werden, ebenso giebt es Mittel, der Gefahr des Einfrierens zu begegnen (s. IV, 2 dieses Kap.).

Die Warmwasserheizung eignet sich somit nach dem Gesagten wie kein anderes Heizsystem hauptsächlich für Räume, in denen eine angenehme, gleichmässige milde Wärme gefordert wird (Wohngebäude, Schulen, Krankenhäuser, Museen, Gewächshäuser u. s. w.). Nur sollte stets Warmwasser-Niederdruck und nicht der etwas geringeren Anlagekosten halber Warmwasser-Mitteldruck in Anwendung gebracht werden, da bei dem letzteren das Wasser bei niedriger Aussentemperatur über 100° erwärmt wird, somit die Vorzüge zum Theile aufgehoben werden und der Nachtheil hinzutritt, dass eine Explosionsgefahr nicht unbedingt ausgeschlossen ist.

II. Grösse der Wassermenge in einer Warmwasserheizung.

Warmwasserheizung, zumal die Niederdruckheizung, liefert von allen bestehenden Heizsystemen die mildeste Wärme, weil nur, der äusseren Temperatur entsprechend, das Wasser in dem Heizkessel erwärmt zu werden braucht, also im Durchschnitte nicht über 50 bis 60°, sie entspricht mithin in dieser Beziehung den hygienischen Anforderungen am besten.

Da das Wasser eine grosse specifische Wärme besitzt, kann bei falscher Wahl des Wasserinhalts der Anlage eine dem jeweiligen Bedürfnisse entsprechende möglichst schnell wirkende Wärmeregelung in den Zimmern in Frage gestellt sein; es ist daher für die Heizkörper stets ein möglichst geringer Wasserinhalt anzunehmen.

In dem Heizkessel selbst ist in den meisten Fällen für eine grössere Wärme-Aufspeicherung Sorge zu tragen. Diese kann entweder unmittelbar durch einen entsprechenden Wasserinhalt, der die zeitige Einstellung des Betriebes unfühlbar macht, oder mittelbar durch eine Anhäufung von Brennmaterial erfolgen, das dem Bedarfe entsprechend zur Verbrennung gelangt. Letztere Einrichtung führt zu ununterbrochenem Betriebe.

Bei unterbrochenem Betriebe ist die tägliche Anheizdauer bei

Digitized by Google

der niedrigsten Aussentemperatur auf etwa 3 Stunden, der gesammte Heizbetrieb aber bei mittlerer Wintertemperatur nur auf etwa 6 Stunden zu bemessen. Je nach der Benutzungsdauer der Räume hat sich alsdann der Wasserinhalt des Kessels bezw. die Konstruktion desselben zu richten. Werden die Räume nur bis zum Nachmittage benutzt oder ist eine Gasbeleuchtung vorhanden, so ist die Wassermenge entsprechend geringer anzunehmen, als bei Benutzung bis zum späten Abende und elektrischer Beleuchtung.

III. Die Heizkessel einer Warmwasserheizung.

(Siehe Tafel XI und XII.)

Unter Heizkessel sollen alle diejenigen Wärme aufnehmenden Heizkörper verstanden werden, die nicht nur aus einem einzigen in Spiralen gewundenen Rohre, dessen beschränkte Anwendung bereits angedeutet worden ist (s. S. 199), bestehen.

Als Material für Herstellung der Kessel wird hauptsächlich Gusseisen oder Schmiedeeisen verwendet.

Bei Gusseisen waltet meist das Bestreben ob, die Kessel aus einzelnen gleichen Elementen zusammenzusetzen, d. h. sie als sogenannte „Gliederkessel“ zu konstruiren. Bei zweckentsprechender Konstruktion müssen die Glieder unter gleichmässigen Ausdehnungsverhältnissen stehen, da sonst die Gefahr des Springens vorliegt, auch sollen sie eine verhältnissmässig leichte Auswechselung gestatten. Die meisten in den Handel gebrachten gusseisernen Kessel haben den Vorzug, keiner Einmauerung zu bedürfen und kompendiös zu sein, und soweit sie sich auch bezüglich guter Verbrennung und Haltbarkeit bewährt haben, werden sie in neuester Zeit mit Vorliebe verwendet.

Bei Schmiedeeisen sollen die Ueberlappungen niemals dem direkten Feuer, besonders nicht der Stichflamme ausgesetzt werden, es verdienen daher die Kessel mit geschweissten Nähten den Vorzug vor denen mit genieteten Nähten.

Bei allen Kesseln ist darauf zu achten, dass das abgekühlte Wasser an der tiefsten Stelle eintritt, das erwärmte von der höchsten Stelle entweicht. Von der tiefsten Stelle aus soll auch die Entwässerung der Kessel und der Anlage erfolgen, damit alle Unreinigkeiten beim Ablassen des Wassers mit entweichen können. Bei Nichtbeachtung dieser Forderungen lagern sich die Unreinigkeiten auf dem Boden und geben zum Durchbrennen der Kessel und unliebsamen Geräuschen bei dem Betriebe Veranlassung. Bei grösseren schmiedeeisernen Kesseln sind Mannlöcher anzuordnen.

1. Eintheilung der Kessel.

Je nach der Art der Wirksamkeit sind zu unterscheiden:

Digitized by Google

a) Kessel für rasches Hochheizen und rasches Erkalten. Derartige Kessel setzen einen geringen Wasserinhalt voraus; hierher gehören die meisten Röhrenkessel.

Dieselben sind nur bedingt für Wasserheizung und nur für Räume, die rasche Erwärmung und rasche Abkühlung erfahren sollen, zu empfehlen; sie nutzen häufig das Feuer infolge zu weiten Spielraums zwischen den Röhren, zu kurzer Züge für die Verbrennungsgase und infolge Ansammlung von Flugasche auf den Röhren mangelhaft aus.

b) Kessel für langsames Hochheizen und langsames Erkalten. Hierher gehören in erster Linie die einfachen Walzenkessel, in zweiter Linie die Rauchrohrkessel bezw. Cornwallkessel.

Die Rauchrohrkessel sind für Warmwasserheizung meist sehr zu empfehlen; ihr Wasserinhalt ist innerhalb weiter Grenzen anzunehmen, sie nutzen das Feuer gut aus. Da die Kessel ganz mit Wasser gefüllt sind, legt man das oder die Rauchröhren gewöhnlich mitten durch den Kessel; die Kessel sind nach hinten mit etwas Fall anzuordnen. Da die Kessel Auflage haben müssen, so kann bei nicht zu weitem Rauchrohre für Berechnung der Heizfläche die Fläche der Böden als todte, die ganze übrige als wirksame Heizfläche in Ansatz gebracht werden.

c) Kessel für rasches Hochheizen und langsames Erkalten. Für diese Kessel sind eine sehr grosse Heizfläche und viel Wasserinhalt erforderlich, daher wird deren Anwendung in der Praxis häufig zu theuer. Zu empfehlen ist in solchen Fällen die Anwendung von 2 Kesseln, der eine mit sehr geringem Wasserinhalte, der zweite nur als eine Art Wasserreservoir ausgebildet.

Die Kessel sind derartig zu verbinden, dass mit dem ersten zunächst die Erwärmung der Heizkörper, alsdann aber die Erwärmung des Wasserinhalts des zweiten erfolgt, was mittels einer Absperrvorrichtung (Drosselklappe, Schieber u. s. w.) leicht zu erreichen ist. Nach eingestelltem Betriebe dient der zweite Kessel alsdann als beliebig benutzbare Wärmequelle für die Heizkörper.

d) Kessel für Dauerbetrieb. Diese Kessel sind alle mit Schüttfeuerung zu versehen, und zwar soll — was vielfach in der Praxis versäumt wird — der aufzunehmende Brennmaterialvorrath so gross sein können, dass Nachbedienung ausgeschlossen bleibt.

e) Kessel für besondere Zwecke. Für Kessel, die nur sehr geringen Druck auszuhalten haben und entweder bei kleiner Form grosse Heizflächen besitzen (Gewächshäuser) oder für kleinere Anlagen dienen sollen, sind mitunter in der Praxis besonders geformte Kessel unter den verschiedensten Namen (Sattel-, Kaiser-, All-Power-, Chatworths-Sattel-, Dom-Top-Kessel u. s. w.) in Anwendung.

Es werden auch Kessel für kleinere Anlagen in Kochherde eingebaut, um eine besondere Feuerungsanlage zu ersparen. (System

Digitized by Google

Liebau.) Bei Anwendung derselben hat man darüber klar zu sein, dass sich Kochen und Heizen bezüglich der Zeit und nach ihrem Umfange vielfach nicht decken. Es kann also bei Anordnung einer Etagenheizung oder bei einer Heizung in einer kleineren Villa in einem Falle die Verbindung des Heiz- und Kochbetriebs ganz vortheilhaft erscheinen, in einem andern Falle als arger Missgriff empfunden werden.

2. Ausrüstung der Kessel.

Es ist zweckmässig, die Zugregelung nicht allein durch einen Rauchschieber, sondern auch noch durch die Aschfallthür bewirken zu können; demzufolge empfiehlt es sich, Feuer- und Aschfallthür hermetisch schliessend einzurichten und an letzterer Luftschieber anzubringen. Der Rauchschieber soll zur Vermeidung des Austritts von Verbrennungsgasen bei zu frühem unachtsamen Schliessen mit einer genügend grossen Durchbohrung versehen werden. Kessel für Dauerbetrieb sind mit selbstthätigen Verbrennungsreglern auszustatten, die entsprechend ihrer nach der Aussentemperatur, d. h. also nach dem jeweiligen Wärmebedarfe vorzunehmenden Einstellung nach Massgabe der Wassertemperatur mehr oder weniger Verbrennungsluft zu dem Brennmateriale treten lassen (s. Tafel XIII).

Zur Messung der Wassertemperatur dient ein Thermometer, dessen Quecksilberkugel in einer dünnen in das Wasser hineinragenden und mit Oel, besser mit Quecksilber gefüllten Messing-, bezw. Eisenkapsel sich befindet. Um bei Anwendung von Quecksilber ein Verdunsten desselben zu verhindern, ist noch eine Schicht Oel über dasselbe zu giessen.

Die Speisung der Kessel erfolgt, sofern Wasserleitung vorhanden ist, am besten durch diese, andernfalls durch eine besondere fest mit der Anlage verbundene Handpumpe. Bei Verwendung der Wasserleitung ist es vorzuziehen, das Speisen durch die Hand des Heizers, anstatt selbstthätig auf dem Dachboden durch eine Schwimmervorrichtung bewirken zu lassen, da durch die Dauer des jedesmaligen Speisens am ehesten das Vorhandensein von Undichtheiten in der Anlage erkannt wird.

Die Nothwendigkeit des Nachfüllens von Wasser — was nur im kalten Zustande der Anlage geschehen soll — erkennt der Heizer durch ein in der Höhe des normalen Wasserstands vom Ausdehnungsgefässe (s. dieses) abzweigendes und nach dem Heizraume führendes Signalrohr. Dasselbe hat über einem Wasserbecken auszumünden und ist mit einem Hahne zu versehen, der während des Betriebs der Heizung geschlossen gehalten wird, damit nicht der Theil des Wassers, um den sich das Volumen infolge der Erwärmung vergrössert hat, zum Abfliessen kommt. Beim Nachfüllen hat der Heizer zunächst das im Signalrohre stehende Wasser ablaufen zu lassen und alsdann

Digitized by Google

so lange neues Füllwasser der Anlage zu geben, bis dem Signalrohre wiederum Wasser entströmt. An der Dauer des Nachfüllens, das sich höchstens alle 14 Tage als nöthig erweist, kann der Heizer bemessen, ob sich in der Anlage etwa ein sonst nicht bemerkbares Leck befindet. Das Signalrohr ist am besten aus Blei oder Kupfer, der Rostgefahr halber nicht aus Eisen herzustellen. Statt eines Signalrohres kann der Wasserstand im Ausdehnungsgefässe auch durch ein im Heizraume angebrachtes sehr empfindliches Manometer zur Anzeige gebracht werden; das Signalrohr verdient den Vorzug.

Sind mehrere Kessel für ein System vorhanden, so sind diese naturgemäss mit einander zu kuppeln. Es ist erwünscht, die einzelnen Kessel durch Schieber am Rücklaufe abstellbar einzurichten. Bei Anordnung auch oberer Schieber müssen die Kessel mit einer nach dem Ausdehnungsgefässe führenden besonderen Rohrleitung verbunden werden.

Bei Anwendung von Mitteldruckheizung wird noch die Anordnung eines Manometers erforderlich, womöglich mit selbstthätiger Alarmvorrichtung bei Ueberschreiten des zulässigen Drucks.

3. Berechnung der Kessel.

Für den Betrieb der Kessel sind bezüglich der den Räumen zuzuführenden Wärmemengen, soweit nicht Dauerbetrieb vorliegt, zwei Perioden — die Periode des Anheizens und des Beharrungszustandes — bezüglich der Inanspruchnahme aber der mit der Temperatur der äusseren Luft schwankende tägliche Betrieb von Wichtigkeit. Eine Feuerungsanlage für industrielle Zwecke hat täglich nahezu dasselbe zu leisten, ein Warmwasserkessel aber je nach der äusseren Temperatur sehr verschiedene Wärmemengen zu liefern.

Die Warmwasserkessel und die zugehörigen Feuerungsanlagen besitzen somit den Nachtheil, für den ungünstigsten Fall zwar bemessen, in der Regel aber nicht für den berechneten in Anspruch genommen zu werden. Um diesen Nachtheil etwas auszugleichen, ist es stets rathsam, statt eines grossen Kessels zwei kleinere zu wählen, die in ihrer Grösse im Verhältnisse etwa 1 : 2 stehen, oder drei gleich grosse Kessel anzuordnen. (S. das auf S. 160 hierüber Gesagte.)

Im Allgemeinen wird das Bestreben vorliegen müssen, die Kessel so gross zu wählen, dass sie im Durchschnitte als geschonte oder doch höchstens als mässig angestrengte Kessel betrachtet werden können.

Für die Periode des Anheizens ist eine grössere Inanspruchnahme, d. h. eine höhere Temperatur der Verbrennungsgase zu gestatten, während im Beharrungszustande eine möglichst grosse Ausnutzung der Wärme stattfinden soll. Es ist daher während des Anheizens im Allgemeinen anzunehmen, dass die Heizgase mit etwa 300° in den Schornstein entweichen, während des Beharrungszustandes aber keine

Digitized by Google

höhere Temperatur bei Schüttfeuerung als 80 bis 100°, andernfalls als 100 bis 150° über Wassertemperatur besitzen sollen. Die Temperatur der den Rost verlassenden Heizgase kann zu 1000 bis 1200° in Rechnung gestellt werden.

a) Heizfläche für den Beharrungszustand. Die Berechnung der Heizfläche ist, je nachdem Parallel-, Gegen- oder Einstromheizfläche vorliegt, mit Hilfe einer der Gl. 117 bis 120 anzustellen. Für Walzen- und Cornwallkessel, sowie für Schüttkessel, die nach Gl. 120 zu berechnen sind, kann der Transmissionskoefficient von den Rauchgasen an das Wasser $k = 16$, für Röhrenkessel $k = 14$ gesetzt werden. Unter Annahme dieser Werthe kann die Wärmeaufnahme eines Quadratmeters Kesselheizfläche aus der nachstehenden Aufstellung ersehen werden.

Temperatur der		Mittlere Wassertemperatur: 80°			Mittlere Wassertemperatur: 100°		
abziehenden Rauchgase	das Rohr verlassenden Rauchgase	Walzen- und Cornwall-Kessel	Schütt-Kessel	Röhren-Kessel	Walzen- und Cornwall-Kessel	Schütt-Kessel	Röhren-Kessel
150	1000	5300 *WE*	5300 *WE*	4600 *WE*	—	—	—
	1200	6000 „	6000 „	5300 „	—	—	—
180	1000	5900 „	5900 „	5200 „	5400	5400	4700
	1200	6700 „	6700 „	5900 „	6200	6200	5400
200	1000	6300 „	—	5500 „	5800	5800	5000
	1200	7100 „	—	6200 „	6600	6600	5300
225	1000	6700 „	—	5900 „	6200	—	5400
	1200	7600 „	—	6700 „	7100	—	6200
250	1000	7100 „	—	6200 „	6700	—	5900
	1200	8000 „	—	7000 „	7600	—	6700

Man ersieht aus dieser Aufstellung, dass es für den ökonomischen Betrieb von grösster Wichtigkeit ist, die Kesselheizfläche möglichst reichlich zu bemessen, die geringen Mehrkosten machen sich durch Betriebsersparnisse bezahlt.

b) Heizfläche für das Anheizen. Unter der Periode des Anheizens ist die Zeit vom Beginne des Heizbetriebs bis zum Eintreten des Beharrungszustandes in der Erwärmung der Räume zu verstehen. Die Kesselheizfläche hat somit innerhalb dieser Zeit diejenige Wärmemenge an das Wasser zu übertragen, welche die zu erwärmenden Räume und die Heizungsanlage selbst nach Einstellung des vorhergehenden Heizbetriebs verloren haben.

Für die Ueberführung der Räume in den Beharrungszustand der Erwärmung ist für die Stunde der Anheizdauer nach Früherem der erforderliche Wärmebedarf im Beharrungszustande vermehrt um die

Digitized by Google

Zuschläge für das Anheizen (s. S. 151) zu rechnen, also $W+Z$, für die Ueberführung der Heizungsanlage in den Beharrungszustand kommt dagegen die Erwärmung des Wassers und des Eisens der Anlage auf die höchste normale Temperatur in Frage. Um auch noch die Verluste des Mauerwerks des Kessels zu decken und die Zeit auszugleichen, bis dass das Feuer selbst im normalen Zustande sich befindet, empfiehlt sich, noch der auf die angegebene Weise ermittelten Wärmemenge einen Zuschlag von etwa $10\,\%$ zu geben. Bezeichnet also:

W_1 die gesammte (nicht stündliche) bis zum Beharrungszustande in den Räumen erforderliche Wärmemenge, d. h. $W_1 = (W+Z)z$, wobei W die stündliche durch Transmission der Räume verloren gehende Wärmemenge, Z den Zuschlag für das Anheizen (s. S. 151) bedeutet,

W_2 die Wärmemenge, die 1 qm Kesselheizfläche bei Abgang der Heizgase mit 250—300° aufnimmt,

A den Wasserinhalt der Kessel, Rohrleitung und Heizkörper in kg, wobei derjenige der Walzen-, Rauchrohr- und Cornwallkessel anzunehmen, derjenige der Röhrenkessel annähernd zu schätzen ist,

B das Gewicht des Eisens der gesammten Anlage in kg,

z die Dauer des Anheizens in Stunden,

ϑ die Temperatur, bis auf die sich die Anlage über Nacht abkühlt (ist zu schätzen),

t_1 die mittlere Temperatur des Wassers im Steige- und Fallrohre während des Beharrungszustandes,

so setze man die Heizfläche in qm:

$$F = \frac{1{,}1\left\{W_1 + (A + 0{,}12\,B)(t_1 - \vartheta)\right\}}{W_2 z} = \frac{1{,}1\left\{(W+Z)z + (A + 0{,}12\,B)(t_1 - \vartheta)\right\}}{W_2 z}. \qquad (123)$$

Um sicher zu rechnen, ist ϑ zu etwa 30° anzunehmen.

Für W_2 kann der Werth aus nachstehender Aufstellung entnommen werden.

Temperatur der		Mittlere Wassertemperatur: 80°		Mittlere Wassertemperatur: 100°	
abziehenden Rauchgase	den Rost verlassenden Rauchgase	Walzen-, Cornwall- u. Schütt-Kessel	Röhren-Kessel	Walzen-, Cornwall- u. Schütt-Kessel	Röhren-Kessel
250	1200	8000	7000	7600	6200
300	1200	8700	7600	8400	7400

Digitized by Google

Zur Bestimmung des Wasserinhalts der Rohrleitung ist Tab. 21 zu benutzen.

Die nach der vorigen (unter a) und dieser Berechnungsart sich ergebende grössere Heizfläche ist für die Anlage beizubehalten; in der Regel wird diejenige für das Anheizen die bei weitem grössere sein.

Die erforderliche Menge an Brennmaterial in kg ergiebt sich dann zu:

$$p = \frac{5 W_2 F}{3 C}, \qquad (124)$$

sofern C die aus einem kg Brennmateriale beim Verbrennen theoretisch erzeugte Wärmemenge bedeutet (s. Aufstellung S. 121).

Ueber die Bestimmung der Rostgrössen s. S. 124.

4. Abmessung der Kessel.

Ist bei Kesseln, deren Wasserinhalt zunächst durch Schätzung bestimmt werden muss, diese nicht genau genug erfolgt, so muss streng genommen nach der für die berechnete Grösse von F erforderlichen Wassermenge die Rechnung nochmals angestellt werden. Bei einem Rauchrohrkessel oder Cornwallkessel kann der Wasserinhalt von vornherein nach den Erwägungen der Wärme-Aufspeicherung gewählt werden und ist alsdann:

F die berechnete Heizfläche des Kessels in qm,
J der angenommene Wasserinhalt in cbm,
D der äussere Durchmesser des Kessels,
d der lichte des Rauchrohres,
L die Länge des Kessels in m,

so muss sein, sofern man die beiden Stirnflächen des Kessels gleich der für die Auflage desselben erforderlichen und verloren gehenden Heizfläche setzt:

$$F = D\pi L + d\pi L = (D + d)\pi L \quad \text{und}$$

$$J = \left(\frac{D^2\pi}{4} + \frac{d^2\pi}{4}\right) L = \frac{L\pi}{4}(D^2 - d^2).$$

Aus beiden Gleichungen folgt:

$$D = \frac{4J}{F} + d \quad \text{und} \qquad (125)$$

$$L = \frac{F}{\pi(D + d)}. \qquad (126)$$

d ist anzunehmen und so lange zu ändern, bis L die passende Grösse erhält. Müsste d in Bezug auf die Menge der Heizgase zu gross gewählt werden, so ist es gerathen, statt eines Kessels deren zwei anzunehmen.

Digitized by Google

Genügt die Grösse der beiden Stirnflächen des Kessels nicht, um als Ersatz für die durch Auflage desselben verloren gehende Heizfläche betrachtet werden zu können, so ist in den beiden letzten Gleichungen F um den noch für die Auflage fehlenden Theil grösser anzunehmen.

IV. Die Heizkörper einer Warmwasserheizung.

(Siehe Tafel XIV und XV.)

1. Form der Heizkörper.

a) Gusseiserne Heizkörper. Glatte oder mit Querrippen versehene Rohrleitung findet zweckmässig in Gewächshäusern Anwendung; für andere Räume werden die Heizkörper entweder aus einem Stücke in Platten-, Kasten- oder Säulenform mit oder ohne senkrechte Rippen ausgebildet oder aus einzelnen Theilen in horizontaler oder vertikaler Aneinanderreihung in Gestalt schmaler rippenartiger glatter Glieder (Gliederheizkörper, Radiatoren) oder kurzer gerippter Rohrstücke (Elemente) zusammengesetzt (Rippenregister). Die Kuppelung in horizontaler Richtung ist der besseren Wärme-Abgabe halber jederzeit derjenigen in vertikaler vorzuziehen. Die meisten Glieder oder Elemente eines zusammengestetzten Heizkörpers besitzen nur einen einzigen Hohlraum, mitunter sind aber auch noch innerliche Scheidewände vorhanden, die dem Wasser eine zwangsläufige Führung anweisen; es ist dies jederzeit zu empfehlen.

Der Eintritt und Austritt des Wassers bei einem einzelnen Heizkörper ohne besondere innere Führungswege kann, sofern derselbe keine grössere horizontale Ausdehnung hat, als etwa seine Höhe beträgt, auf derselben Seite erfolgen, andernfalls ist wechselseitiger Ein- und Austritt zu empfehlen.

Meist werden die gusseisernen Heizkörper des besseren Aussehens halber mit Verkleidungen versehen (s. S. 163), nur die Platten- und Gliederheizkörper machen dieselben vielfach entbehrlich. Werden auch noch Verzierungen an die Heizkörper gegossen, was vom hygienischen Standpunkte aus meist zu verwerfen ist, so finden sie sich im Handel auch unter dem Namen „Zierheizkörper“, obschon sie selten als eine wirkliche Zierde eines Raumes angesehen werden können.

b) Schmiedeeiserne Heizkörper. In Form einfacher Röhren kommen dieselben in der Praxis wegen des schwierigen Unterbringens seltener vor, für Gewächshäuser sind sie wegen der in denselben befindlichen feuchten Luft nicht zu empfehlen. Als Heizkörper für Aborte, sofern sie senkrecht durch den Raum hindurch geführt werden („Standröhren“), eignen sie sich recht gut, da alsdann unter der Decke eine wesentlich höhere Temperatur als über Fuss-

Digitized by Google

boden herrscht und diese die Lüftung des Raumes, die bei Aborten von der Decke beginnen soll, begünstigt.

Die am meisten in Anwendung befindlichen schmiedeeisernen Heizkörper sind Plattenheizkörper und die sogenannten „Säulenöfen“ und „Rohrregister“. Bei allen Heizkörpern ist bezüglich der Herstellung darauf zu achten, dass bei denselben weiche Löthungen ausgeschlossen bleiben, auch eine Dichtung der einzelnen Theile der Heizkörper selbst durch Gummi, Pappe etc. nicht stattfindet. Alle Heizkörper sind stets grundirt zu liefern.

Die Plattenheizkörper sind zufolge ihres geringen Wasserinhalts und ihrer fast ausschliesslich senkrechten Heizfläche als sehr gute Heizkörper zu bezeichnen, die Säulenöfen, sofern sie in Form von einfachen stehenden, mit Sockel und Bekrönung versehenen Cylindern ausgebildet werden, besitzen sehr viel Wasser und sind daher nur selten zu empfehlen. Die Wassermenge wird vermindert und die Heizfläche etwas vergrössert durch Einziehung senkrechter Röhren, um welche also das Wasser und durch welche die Zimmerluft strömt. Indess auch bei dieser Konstruktion ist der gewünschte geringe Wasserinhalt nur beschränkt zu erzielen. Zu empfehlen sind Säulenöfen, die nur aus zwei koncentrischen Cylindern bestehen, zwischen denen das Wasser fliesst. Diese Konstruktion ist zwar die theuerste, allein auch diejenige, bei der die Grösse des Wasserinhalts der Bestimmung des Konstrukteurs überlassen bleibt.

Die Rohrregister bestehen aus einer Anzahl parallel liegender Röhren, die an den beiden Enden durch — meist gusseiserne — Kästen verbunden sind, in denen das Wasser vertheilt bezw. gesammelt wird. Auch diese Heizkörper haben meist zu viel Wasser; um dieses nach Wunsch zu verringern und die Heizfläche, wenn auch in minderwerthiger Weise, zu vergrössern, werden durch die Röhren und die beiden Endkästen noch schwächere Röhren hindurch gezogen, so dass also die Luft durch diese hindurch strömen kann. Derartige Heizkörper bezeichnet man dann in der Praxis mit dem Namen „Doppelrohrregister“. Die Form der Kästen ist eine beliebige und kann jedem Wunsche angepasst werden. Bei mehreren hinter einander liegenden Röhrenreihen ist Vorsorge zu treffen, dass die Zimmerluft alle Röhren gut umspülen kann. Die Rohrregister werden entweder mit Sockel und Bekrönung oder mit Gittermänteln versehen.

2. Regelung der Wärme-Abgabe der Heizkörper.

Die Regelung der Wärme-Abgabe kann generell durch den schwächeren Heizbetrieb oder in jedem einzelnen Raume durch Veränderung der durch die Heizkörper strömenden Wassermenge erfolgen.

Der schwächere Heizbetrieb wird bei Vorhandensein eines Verbrennungsreglers durch diesen bewirkt, die entsprechende Ein-

Digitized by Google

stellung des Reglers hat von dem Heizer nach dem Wärmebedarfe zu erfolgen. Da der Heizer den Wärmebedarf entweder nur durch Betreten der zu erwärmenden Räume oder ausserhalb derselben (im Kesselraume) nur bei Vorhandensein einer Fern-Temperaturanzeige erkennen kann, so empfiehlt sich, um das erstere auszuschliessen, bei jeder Anlage die Anordnung von Fernthermometern. Unter Annahme, dass bei regelrechtem Betriebe in allen Räumen die normale Temperatur herrschen soll, sind für jede Warmwasserheizung nur so viel Räume mit Fernthermometern auszustatten, als Gruppen von Heizkörpern vorhanden sind, bei denen es durch den Heizbetrieb möglich ist, die Wassertemperatur bezw. Wassermenge veränderlich gestalten zu können. Bei Vorhandensein einer aus einem oder mehreren Kesseln bestehenden Feuerungsanlage wird also nur ein Raum mit einer Fernthermometer-Anlage zu versehen sein, wenn die Rückläufe nicht mit Drosselung versehen werden, zwei Räume dagegen, wenn z. B. die Rückläufe der nach Norden, Nordost und Nordwest gelegenen Räume getrennt und durch Drosselung regelbar von denjenigen der übrigen Räume angeordnet worden sind. Es wird mithin selbst für sehr grosse Anlagen nur eine geringe Anzahl von Räumen Fernthermometer zu erhalten haben; die hierdurch bedingte Ausgabe macht sich durch die Bequemlichkeit und Sicherheit des Betriebs jederzeit bezahlt.

Die beliebige Wärmeregelung in den einzelnen Räumen ist durch Veränderung der durch die Heizkörper strömenden Wassermenge zu erzielen. Die Veränderung wird durch Ventile, Schieber oder Hähne bewirkt. Erforderlich für jeden Heizkörper ist nur eine Regelungsvorrichtung, am besten am Ausflusse des Wassers; wird auch noch am Einflusse eine solche angeordnet, so dient diese zweckmässig nur zum einmaligen und zwar derartigen Einstellen, dass bei ganz geöffneten unteren Vorrichtungen der sämmtlichen Heizkörper in allen Räumen gerade die vorgeschriebene Temperatur erreicht wird. Das spätere Erzielen einer beliebigen geringeren Temperatur erfolgt alsdann nur durch Einstellung der unteren Vorrichtung. Wenn bei Anordnung nur einer Regelungsvorrichtung dieselbe am Zuflusse angebracht wird, so kann es vorkommen, dass bei Abschluss dieser innerhalb des Abflussrohres infolge eines tiefer an dasselbe angebundenen Heizkörpers ein Wasserumlauf und dadurch eine Erwärmung des abgesperrten Heizkörpers von unten aus erfolgt.

Für kalt gelegene Räume, besonders wenn die Heizkörper in den Fensternischen angeordnet werden, empfiehlt es sich, zur Vermeidung des Einfrierens die Regelungsvorrichtungen derartig zu konstruiren, dass auch bei völligem Abschliessen derselben ein ganz geringer Durchfluss des Wassers stattfindet. Mit Sicherheit wird hierdurch die Gefahr des Einfrierens allerdings nicht immer vermieden, da infolge der geringen Geschwindigkeit des Wassers im Heizkörper dieses eine

Digitized by Google

zu grosse Abkühlung erfahren und bei ungünstigen Verhältnissen am Abflusse einfrieren kann. Sicherer ist es daher, für ein Warmhalten des unteren Theiles des Heizkörpers, etwa durch ein von dem Wasserumlaufe nicht ausschaltbares Rohr, Sorge zu tragen.

3. Berechnung der Heizkörper.

Die Berechnung der Heizkörper ist bereits früher (s. S. 166) eingehend besprochen worden und hat mittels des Ausdrucks zu erfolgen:

$$F = \frac{W}{k\left(\frac{t' + t''}{2} - t_z\right)}, \qquad (127)$$

worin bedeutet:

F die Wärme abgebende Fläche des Heizkörpers in qm,
W die von dem Heizkörper stündlich zu liefernde Wärmemenge in WE,
t' bezw. t'' die Eintritts- bezw. Austrittstemperatur des Wassers,
t_z die Temperatur der zuströmenden Luft (Raumtemperatur),
k den Transmissionskoefficienten.

Die Werthe für k sind der Tabelle 13, I zu entnehmen, für die Anwendung derselben aber auch das auf S. 171 u. f. Gesagte zu beachten.

V. Die Rohrleitung einer Warmwasserheizung.

Die Anordnung in Bezug auf die Wasserführung nach und von den Heizkörpern hat bereits auf S. 200 Erörterung gefunden.

1. Ausführung der Rohrleitung.

Als Material wird Kupfer, Guss- und Schmiedeeisen verwendet. Kupfer ist seines hohen Preises halber nur vereinzelt in Verwendung, gestattet jedoch die sauberste und zweckentsprechendste Ausführung. Die Dichtung der Röhren erfolgt durch Flanschen.

Gusseiserne Röhren werden wegen ihrer Schwere, leichten Brüchigkeit und der Nothwendigkeit, mit bestimmten Längen arbeiten zu müssen, selten angewendet. Für hohe Standröhren, die auf einer Grundplatte sich aufbauen, eignet sich Gusseisen recht gut. Die Dichtung darf nur durch Flanschen, nicht durch Muffen erfolgen.

Die am meisten verwendeten Röhren sind die schmiedeeisernen; sie sind im Feuer zu biegen, theilbar und den baulichen Verhältnissen anzupassen. Angewendet werden gewöhnlich: starkwandige Gasröhren (Muffenröhren) bis etwa 65 mm lichter Weite, patent-

Digitized by Google

geschweisste Siederöhren (Patentröhren) von etwa 57 mm lichter Weite an.

Erstere werden mittels Muffen, und zwar entweder mit Rechts- und Linksgewinde oder nur mit Rechtsgewinde, gedichtet. Für Abzweige, Bogen u. s. w. schmiedeeiserner Rohre giebt es käufliche Formstücke (Fittings). Die Röhren und Formstücke werden im Handel nach dem lichten Durchmesser verkauft.

Die patentgeschweissten Siederöhren müssen mittels Flanschen gedichtet werden, gewöhnlich unter vorherigem Auflöthen von Bordscheiben mittels harten Loths. Das Dichtungsmaterial ist meist Gummi mit mehrfacher Hanf- oder Drahteinlage. Damit der Gummi sich nicht beim Anziehen in das Rohr einpresst und den Querschnitt verengt, empfiehlt sich sehr, an der Verbindungsstelle eine dünne Blechhülse in das Rohr einzulegen. Für Abzweige, Bogen u. s. w. wendet man am besten Kupfer, häufig jedoch auch Gusseisen an.

Die Siederöhren werden im Handel nach dem äusseren Durchmesser verkauft; beim Kostenanschlage ist darauf zu achten, dass bei allen Röhren jederzeit der innere Durchmesser angegeben wird.

Um eine Sicherheit für gute Ausführung der Anlagen zu bieten, hat der Verband deutscher Centralheizungs-Industrieller mit einer Anzahl von Walzwerken sogenannte „Verbandsröhren", d. h. Röhren vereinbart, deren Wandstärken vorgeschrieben sind, die vor dem Versande auf Druck (Muffenröhren auf 15, Patentröhren auf 25 Atm.) geprüft werden und für welche die Werke eine derartige Garantie übernehmen, dass bei sachgemässer Behandlung die Röhren eine Biegung aushalten, bei welcher der Radius des Bogens dem vierfachen inneren Rohrdurchmesser gleichkommt. Die Röhren sind als „Verbandsrohr" durch einen Stempel kenntlich, der gleichzeitig das Werk bezeichnet, von dem sie hergestellt worden sind. Da das Streben des Verbands deutscher Centralheizungs-Industrieller für die gute Ausführung der Anlagen die vollste Unterstützung verdient, so hat der Verfasser für seine Tabellen ebenfalls das „Verbandsrohr" in Rücksicht gezogen.

Bei Durchführung der Röhren durch Mauern und Decken sind dieselben in fest einzumauernde Hülsen zu legen. Die Befestigung der aufsteigenden Röhren erfolgt bei kleineren Rohrweiten meist durch Rohrhaken, bei den grösseren durch Rohrschellen. Es ist zu sorgen, dass die Röhren frei und nicht an der Wand anliegen. Die Röhren mit Muffendichtung können bei guter Ausführung in Schlitzen untergebracht und diese nach mehrtägiger einwandsfreier Probeheizung hohl zugemauert oder besser mit einer abnehmbaren Verkleidung versehen werden. Die Flanschendichtungen sind stets zugänglich anzuordnen.

Die Lagerung horizontaler Röhren erfolgt auf Konsoleisen oder

Digitized by Google

besser auf Rollen bezw. hängend in beweglichen Schlingen. Da die Ausdehnung der Röhren allmählich nach dem Anheizen erfolgt, ist derselben nur bei langen horizontal fortlaufenden Leitungen durch Einschaltung sogenannter Kompensatoren Rechnung zu tragen. (Näheres darüber siehe Dampfheizung.)

Nach Fertigstellung der Rohranlage ist dieselbe einschliesslich der Kessel und Heizkörper zunächst einer Druckprobe mit kaltem Wasser (bis etwa 5 Atm. am tiefsten Punkte der Anlage) auszusetzen, wobei anzunehmen ist, dass keine Undichtheiten vorhanden sind, sofern das Manometer 15 Minuten lang keinen Rückgang zeigt. Alsdann sind unter kräftigem Heizen alle Flanschen und nicht nur diejenigen, die etwa tropfen sollten, nachzuziehen. Beim Heizen ist gleichzeitig der richtige Umlauf des Wassers festzustellen. Die Röhren sind alsdann mit Mennige-Anstrich zu versehen und mit einem schlechten Wärmeleiter (Kieselguhr, Kork, Seide, Filz etc.) gut zu umhüllen; Filz ist wegen des leichten Sitzes für Ungeziefer, besonders Motten, trotz seines vorzüglichen Wärmeschutzes nur mit Vorsicht anzuwenden, jedenfalls muss der Filz mit einer dichten und mit einem Anstriche versehenen Bandage umhüllt werden.

2. Berechnung der Rohrleitung.

A) Theorie.

Die Grundlage für die Theorie der Bestimmung der Rohrweiten einer Warmwasserheizung gewinnt man aus der Betrachtung des in Fig. 40 dargestellten Falls. $ABCD$ stellt ein Rohr von leichem Durchmesser dar, die beiden durch dasselbe gebildeten Wassersäulen ABC und CDA besitzen die gleiche Höhe. Bei A soll eine Erwärmung des Wassers auf die Temperatur t', in C eine Abkühlung von t' auf t'' stattfinden. Wärmeverluste der Rohrleitung bleiben unberücksichtigt.

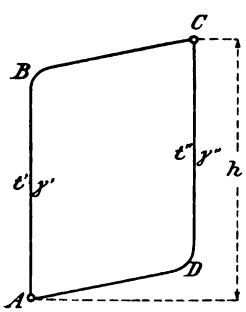


Fig. 40.

Infolge des Dichtigkeitsunterschieds des Wassers in ABC und CDA tritt eine Bewegung des Wassers ein, die Geschwindigkeit desselben in CDA ist wegen der grösseren Dichtigkeit eine geringere als in ABC, da jedoch die bei Wasserheizungen vorkommenden Temperaturunterschiede verhältnismässig geringe sind, kann, ohne einen einflussreichen Fehler zu begehen, die Geschwindigkeit im ganzen Systeme als gleich gross und entsprechend der mittleren Dichtigkeit des Wassers angenommen werden.

Bedeutet also jetzt und für die Folge:

W die stündlich abgegebene Wärmemenge in WE,

t' bezw. t'' die Temperatur des Wassers vor bezw. nach der Wärme-Abgabe,

Digitized by Google

γ' bezw. γ'' die Dichtigkeit des Wassers bei der Temperatur t' bezw. t'',

Q die durch den Rohrquerschnitt stündlich fliessende Menge Wassers von der Dichtigkeit $\frac{\gamma' + \gamma''}{2}$ in kg,

v die sekundliche Geschwindigkeit des Wassers in m,

d den lichten Durchmesser der Rohrleitung in m,

so muss unter Berücksichtigung, dass das Wasser, um die Wärmemenge W abzugeben, sich von t' auf t'' abzukühlen hat, und die specifische Wärme des Wassers = 1 ist, sein:

$$W = Q\ (t' - t''). \qquad (128)$$

Da nun:

$$Q = 3600 \cdot 1000 \cdot \frac{d^2 \pi}{4} \cdot \frac{\gamma' + \gamma''}{2}$$

zu setzen ist, so ergiebt sich:

$$W = 3600 \cdot 1000 \cdot \frac{d^2 \pi}{4} \frac{\gamma' + \gamma''}{2} (t' - t'')$$

und somit:

$$v = \frac{W}{3600 \cdot 1000 \cdot \frac{d^2 \pi}{4} \frac{\gamma' + \gamma''}{2} (t' - t'')}.$$

Führt man die mittlere Dichtigkeit des Wassers $\frac{\gamma' + \gamma''}{2}$ bei Warmwasser-Niederdruckheizung für die Temperaturen 90° und 60°, bei Warmwasser-Mitteldruckheizung für die Temperaturen 150° und 80° ein — was für andere gebräuchliche Temperaturen eine durchaus zu vernachlässigende Abweichung ergiebt — so erhält man die erforderliche sekundliche Geschwindigkeit des Wassers für

$$\text{Niederdruck: } v = \frac{W}{10000} \frac{1}{275{,}67\, d^2 (t' - t'')}, \qquad (129a)$$

$$\text{Mitteldruck: } v = \frac{W}{10000} \frac{1}{267{,}18\, d^2 (t' - t'')}, \qquad (129b)$$

oder wenn man $\frac{1}{10000} \frac{1}{275{,}67}$ bezw. $\frac{1}{10000} \frac{1}{267{,}18}$ als eine jederzeit konstante Grösse $= \frac{1}{A}$ setzt, allgemein die erforderliche sekundliche Geschwindigkeit des Wassers in einem Rohrstücke einer Warmwasserheizung:

$$v = \frac{W}{A\, d^2 (t' - t'')}. \qquad (130)$$

Digitized by Google

Die Bewegung des Wassers in der Anlage wird hervorgerufen durch die Druckdifferenz zwischen der kälteren und wärmeren Wassersäule; dieselbe lässt sich durch die Höhe einer Wassersäule (Druckhöhe) ausdrücken, die so gross sein muss, dass trotz der der Bewegung des Wassers durch Reibung und sonstige Hindernisse entgegenstehenden Widerstände die erforderliche Geschwindigkeit v des Wassers auch wirklich erreicht wird, d. h. dass im Beharrungszustande die Druckhöhe gleich der Widerstandshöhe ausgedrückt durch die Geschwindigkeit v ist. Dieser Satz wird analytisch durch die Gleichung gekennzeichnet:

$$h\gamma'' - h\gamma' = \frac{v^2}{2g}\frac{\gamma' + \gamma''}{2}\left(\frac{\varrho}{d}l + \Sigma\zeta\right), \qquad (131)$$

oder wenn $\frac{\gamma'' - \gamma'}{\frac{\gamma' + \gamma''}{2}} = a$ gesetzt wird: (132)

$$ah = \frac{v^2}{2g}\left(\frac{\varrho}{d}l + \Sigma\zeta\right). \qquad (133)$$

In derselben bedeutet:

- h den senkrechten Abstand zwischen den Horizontalebenen der Wärmeaufnahme und der Wärmeabgabe in m,
- l die Länge der Rohrleitung vom lichten Durchmesser d in m,
- ϱ den Reibungskoefficienten des Wassers an der Rohrwandung,
- $\Sigma\zeta$ die Summe der in der gesammten Anordnung vorkommenden einmaligen Widerstände.

ah kann somit als die wirksame Druckhöhe zur Ueberwindung der in der ganzen Anordnung durch Reibung und einmalige Widerstände hervorgerufenen Widerstandshöhe bezogen auf eine Dichtigkeit des Wassers = 1 bezeichnet werden.

Findet die Wärmeabgabe nicht in der Horizontalebene C des Rohrsystems, sondern allmählich auf der ganzen Strecke CDA statt, so würde die Gl. 131 lauten müssen:

$$h\frac{\gamma' + \gamma''}{2} - h\gamma' = \frac{v^2}{2g}\frac{\gamma' + \gamma''}{2}\left(\frac{\varrho}{d}l + \Sigma\zeta\right)$$

und es würde nur dann die Gl. 133 anzuwenden sein, wenn unter h die halbe Höhe der Wassersäulen verstanden werden soll. Mit anderen Worten: Bei der Berechnung der Rohrweiten ist jederzeit die Wärmeabgabe in einer Horizontalebene und für diese die Mittelebene des betreffenden Heizkörpers anzunehmen.

Digitized by Google

Für den einfachsten in der Praxis vorkommenden Fall von Kessel und Heizkörper (s. Fig. 41) ist also die Gl. 133:

$$ah = \frac{v^2}{2g}\left(\frac{\varrho}{d}\,l + \Sigma\zeta\right)$$

anzuwenden und für h der senkrechte Abstand von Mitte Kessel bis Mitte Heizkörper anzunehmen.

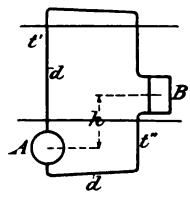


Fig. 41.

Es soll in dieser Gleichung, da bereits durch zahlreiche nach dieser Theorie bestimmte Ausführungen bewährt, der Reibungskoefficient nach Weisbach gesetzt werden:

$$\varrho = 0{,}01439 + \frac{0{,}0094711}{\sqrt{v}} \qquad (134)$$

und der einmalige Widerstand ζ für:

ein rechtwinkeliges Knie	1,
ein rundes Knie (Bogen)	0,5,
einen Krümmer (Retourbogen)	0,8,
plötzliche grosse Querschnittserweiterungen (Heizkörper, Kessel)	1,
geöffnete Ventile	0,5 bis 1,
geöffnete Hähne und Schieber	0,1 bis 0,3,
kleine Querschnittserweiterungen und Bogen, deren Halbmesser grösser als der fünffache Rohrdurchmesser ist	0.

Die Anwendung vorstehender Theorie auf sämmtliche in der Praxis vorkommenden Fälle geht aus den stehenden Einzelbetrachtungen hervor.

Fall 1. *Die Wärme-Abgabe findet durch Heizkörper — mit Ausnahme der aus einer längeren fortlaufenden Rohrleitung bestehenden — statt. Die Heizkörper liegen höher als die Kessel; die Ein- und Austrittstemperatur (t' bezw. t'') des Wassers ist bei allen die gleiche.*

Dieser Fall ist der in der Praxis am häufigsten vorkommende. Um mit einer einfachen Anordnung anzufangen, bestehe dieselbe, wie Fig. 42 darstellt, aus 3 über einander liegenden Heizkörpern.

Man kann sich diese Anlage dadurch entstanden denken, dass 3 Anlagen nach Anwendung von Fig. 42 zusammengelegt, d. h. deren Kessel und die sich deckenden Rohrleitungen vereinigt worden sind. Wollte man jedoch diese 3 Anlagen einzeln berechnen und die Durchmesser der zu vereinigenden Rohrleitungen aus der Summe der gefundenen einzelnen Querschnitte bestimmen, so würde man durchaus fehlerhaft verfahren, da in den vereinigten Rohrsträngen nur je eine

Digitized by Google

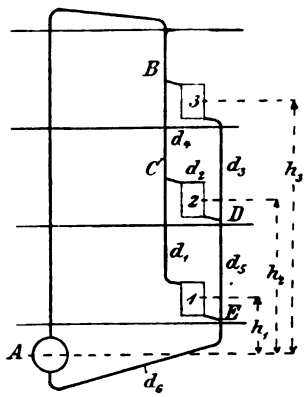


Fig. 42.

Geschwindigkeit und somit nur eine dieser Geschwindigkeit entsprechende Widerstandshöhe herrschen kann.

Für jeden Heizkörper kann man aber jedenfalls einen in sich geschlossenen Stromkreis verfolgen. Für Heizkörper 1 ist derselbe: *C1EABC*, für Heizkörper 2: *C2DEABC*, für Heizkörper 3: *B3DEAB*.

Die Rohrleitung eines jeden dieser Stromkreis esetzt sich aus einer Anzahl verschieden weiter Rohrstrecken zusammen; für jede derselben muss die Gl. 130 für die erforderliche Geschwindigkeit Gültigkeit haben, d. h. es muss sein:

$$v_1 = \frac{W_1}{A d_1^2 (t' - t'')}, \quad v_2 = \frac{W_2}{A d_2^2 (t' - t'')}, \quad v_3 = \frac{W_3}{A d_3^2 (t' - t'')},$$

$$v_4 = \frac{W_2 + W_3}{A d_4^2 (t' - t'')}, \quad v_5 = \frac{W_1 + W_2}{A d_5^2 (t' - t'')} \text{ und } v_6 = \frac{W_1 + W_2 + W_3}{A d_6^2 (t' - t'')},$$

sofern die Grössen einer Rohrstrecke (Wärmemengen, Geschwindigkeiten, Durchmesser) immer gleiche Indices erhalten.

Da sich in jedem Stromkreise die Widerstandshöhen der einzelnen Rohrstrecken einfach addiren, so muss ferner gemäss des Ausdrucks 133 die Gleichung gelten für den Stromkreis

des Heizkörpers 1:

$$a h_1 = \frac{v_1^2}{2g}\left(\frac{\varrho_1}{d_1} l_1 + \Sigma\zeta_1\right) + \frac{v_6^2}{2g}\left(\frac{\varrho_6}{d_6} l_6 + \Sigma\zeta_6\right) + \frac{v_4^2}{2g}\left(\frac{\varrho_4}{d_4} l_4 + \Sigma\zeta_4\right),$$

des Heizkörpers 2:

$$a h_2 = \frac{v_2^2}{2g}\left(\frac{\varrho_2}{d_2} l_2 + \Sigma\zeta_2\right) + \frac{v_5^2}{2g}\left(\frac{\varrho_5}{d_5} l_5 + \Sigma\zeta_5\right) + \frac{v_6^2}{2g}\left(\frac{\varrho_6}{d_6} l_6 + \Sigma\zeta_6\right) + \frac{v_4^2}{2g}\left(\frac{\varrho_4}{d_4} l_4 + \Sigma\zeta_4\right),$$

des Heizkörpers 3:

$$a h_3 = \frac{v_3^2}{2g}\left(\frac{\varrho_3}{d_3} l_3 + \Sigma\zeta_3\right) + \frac{v_5^2}{2g}\left(\frac{\varrho_5}{d_5} l_5 + \Sigma\zeta_5\right) + \frac{v_6^2}{2g}\left(\frac{\varrho_6}{d_6} l_6 + \Sigma\zeta_6\right).$$

Bei jeder Anlage, auch der grössten, ist die Zerlegung in einzelne Stromkreise genau so einfach, wie in dem soeben behandelten Falle; somit möge als Grundlage der weiteren Besprechung nun sofort eine scheinbar schwierige Anordnung (Fig. 43) angenommen werden, schwierig insofern, als bei derselben Heizkörper mit gemeinsamer Zuleitung nicht immer auch gemeinsame Ableitung erhalten sollen.

Digitized by Google

Es sind nach Fig. 43 im Ganzen 7 Heizkörper vorhanden; die stündliche Wärme-Abgabe derselben soll entsprechend mit $W_1, W_2 \ldots W_7$ bezeichnet werden, die Durchmesser der unmittelbar zu jedem Heizkörper gehörigen Zu- und Ableitung mit $d_1, d_2 \ldots d_7$. Die Bezeichnung der Durchmesser der gemeinsamen Stränge geht aus der

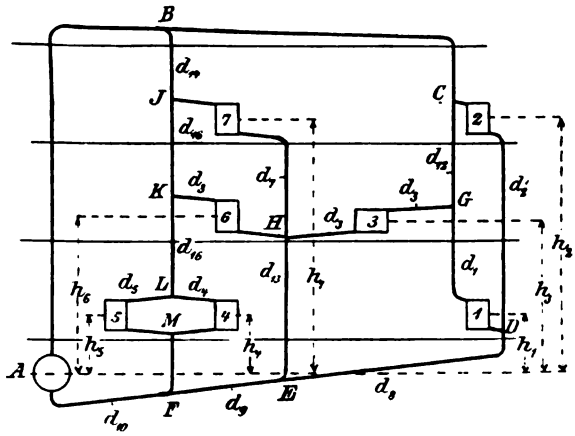


Fig. 43.

Fig. 43 hervor. Die senkrechten Abstände der Mittelebene der Heizkörper von der Mittelebene des Kessels sollen den Nummern der Heizkörper entsprechend durch $h_1, h_2 \ldots h_7$ gekennzeichnet werden.

Für die Folge wird eine jede Rohrstrecke, deren Durchmesser und Wassermenge sich nicht ändern, unbeschadet ob sich innerhalb derselben ein Heizkörper oder der Kessel befindet, mit dem Namen „Theilstrecke“ belegt werden.

Es sind also *FAB*, *BC*, *C2D*, *CG*, *G3H*, *DE*, *L4M* u. s. f. oder kurz nach dem Durchmesser bezeichnet d_{10}, d_{11}, d_2, d_{12}, d_3, d_8, d_4 u. s. f. als je eine Theilstrecke anzusehen.

In der durch Fig. 43 dargestellten Anordnung muss wiederum sein:

$$v_1 = \frac{W_1}{A d_1^2 (t' - t'')}, \tag{135}$$

$$v_8 = \frac{W_1 + W_2}{A d_8^2 (t' - t'')}, \tag{136}$$

$$v_9 = \frac{W_1 + W_2 + W_3 + W_6 + W_7}{A d_9^2 (t' - t'')} \tag{137}$$

u. s. f., d. h. es ist allgemein in die Gl. 130 für:

W die Summe der stündlich abzugebenden Wärmemenge derjenigen Heizkörper zu setzen, deren gesammte Wassermenge durch die betreffende Rohrleitung zu oder abgeleitet wird,

Digitized by Google

t' bezw. t'' die für alle Heizkörper gleich gross anzunehmende Temperatur des Wassers vor bezw. nach der Wärme-Abgabe einzuführen.

Ueber den Werth von A siehe Seite 217.

Die wirksame Druckhöhe von Heizkörpern 1 ist ah_1, von Heizkörper 2: ah_2 u. s. f. und jede dieser wirksamen Druckhöhen ist der Summe der Widerstandshöhen in den Theilstrecken des gesammten Stromkreises des betreffenden Heizkörpers gleich zu setzen. Also ah_1 muss der Summe der Widerstandshöhen der einzelnen Theilstrecken des Stromkreises $G1DEFABCG$, ah_2 derjenigen des Stromkreises $C2DEFABC$, ah_3 derjenigen des Stromkreises $G3HEFABCG$ u. s. f. gleich sein.

Wenn der einfacheren Schreibweise halber der Werth

$$\frac{\varrho}{d} l + \Sigma\zeta = Z$$

gesetzt wird, so muss also sein

für den Stromkreis des Heizkörpers 1:

$$ah_1 = \frac{v_1^2}{2g} Z_1 + \frac{v_8^2}{2g} Z_8 + \frac{v_9^2}{2g} Z_9 + \frac{v_{10}^2}{2g} Z_{10} + \frac{v_{11}^2}{2g} Z_{11} + \frac{v_{12}^2}{2g} Z_{12}, \quad (138)$$

für den Stromkreis des Heizkörpers 2:

$$ah_2 = \frac{v_2^2}{2g} Z_2 + \frac{v_8^2}{2g} Z_8 + \frac{v_9^2}{2g} Z_9 + \frac{v_{10}^2}{2g} Z_{10} + \frac{v_{11}^2}{2g} Z_{11}, \quad (139)$$

für den Stromkreis des Heizkörpers 3:

$$ah_3 = \frac{v_3^2}{2g} Z_3 + \frac{v_{13}^2}{2g} Z_{13} + \frac{v_9^2}{2g} Z_9 + \frac{v_{10}^2}{2g} Z_{10} + \frac{v_{11}^2}{2g} Z_{11} + \frac{v_{12}^2}{2g} Z_{12} \quad (140)$$

u. s. f.

Betrachtet man die Gl. 135 bis 140, so erkennt man, dass die Geschwindigkeit und der Rohrdurchmesser einer jeden Theilstrecke in einem bestimmten Verhältnisse zu einander stehen müssen, wählt man die erste, so ist die letzte bestimmt, und umgekehrt; weiter geht aber hervor, dass diesen Gleichungen je nach Wahl der verschiedenen Geschwindigkeiten bezw. Rohrdurchmesser durch unendlich viele Fälle, innerhalb der praktischen Verwerthbarkeit aber durch eine sehr grosse Anzahl verschiedener Fälle Genüge geschehen kann. Hieraus ersieht man, dass die Durchmesser des Rohrnetzes ein- und derselben Warmwasserheizung unbeschadet des Effekts sehr verschieden bemessen sein können.

Es ist vorausgesetzt worden, dass die Temperaturen t' und t'' für alle Heizkörper der Anlage gleich gross angenommen werden sollen. Bei der Anordnung nach Fig. 42 und 43 ist t' unbedingt für alle Heizkörper gleich gross, sofern man von der Abkühlung des Wassers

Digitized by Google

in der Rohrleitung absieht, die durch geeignete Schutzmittel jederzeit auf ein geringes Maſs zu beschränken ist. t'' dagegen könnte verschieden gross angenommen werden, nur müssten dann die Wärmeflächen zur Abgabe von W entsprechende Grösse erhalten. Die Berechnung der Anlage würde sich dann aber sehr umständlich gestalten, und da auch kein praktischer Grund dafür spricht, für den einen Heizkörper ein grosses, für den andern ein kleines t'' anzunehmen, so ist für alle Anlagen, die durch den vorstehend behandelten Fall gekennzeichnet werden, diesem entsprechend zu verfahren.

***Fall 2.** Die Wärme-Abgabe findet durch Heizkörper wie in Fall 1 statt, nur liegen sie zum Theile tiefer als der Kessel und erhalten als Zuwasser das Abwasser über dem Kessel gelegener Heizkörper.*

Dieser Fall findet in der Praxis Anwendung, wenn einzelne Räume an die Heizung angeschlossen werden sollen, in denen die Heizkörper eine tiefere Lage als die Kessel erhalten müssen. In der Regel wird man alsdann zur Vermeidung von Unregelmässigkeiten auf eine beliebige Ausschaltung dieser Heizkörper von der Erwärmung verzichten und den Betrieb derselben von denjenigen abhängig machen, deren Abwasser als Zuwasser zu dienen hat. In Fig. 44 ist die alsdann zu befolgende Anordnung gegeben. Damit sich die Berechnung möglichst einfach gestaltet und die unteren Heizkörper 1^a und 2^a nicht zu gross gemacht werden müssen, ist die Temperatur t'' des Abwassers der verschiedenen Fallstränge wieder gleich gross anzunehmen; infolgedessen muss die Temperatur des Abwassers der unteren Heizkörper ebenfalls t'', der oberen Heizkörper 1^b und 2^b, jedoch grösser als t'' sein. Die Bestimmung dieser Temperatur ist zunächst erforderlich.

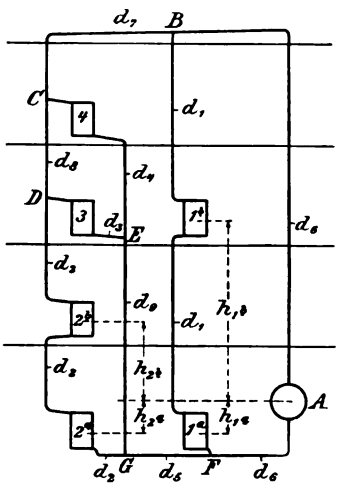


Fig. 44.

Die Wassermenge, die durch Heizkörper 1^a fliesst, ist dieselbe, die Heizkörper 1^b durchströmt. Nimmt man für den Fallstrang BF den gleichen Durchmesser d_1, also auch die gleiche Geschwindigkeit v_1 an, dann muss nach Gl. 130 für den Heizkörper 1^a:

$$v_1 = \frac{W_{1a}}{A\, d_1^{\,2} (\vartheta_1 - t'')}, \qquad (141)$$

für den Heizkörper 1^b:

$$v_1 = \frac{W_{1b}}{A\, d_1^{\,2} (t' - \vartheta_1)} \qquad (142)$$

Digitized by Google

sein, wenn die Austrittstemperatur des Wassers aus Heizkörper 1^a gleich der Eintrittstemperatur desselben in den Heizkürper 1^a mit ϑ_1 bezeichnet wird. Aus den beiden Gleichungen folgt:

$$\frac{W_{1a}}{\vartheta_1 - t''} = \frac{W_{1b}}{t' - \vartheta_1},$$

mithin:

$$\vartheta_1 = \frac{W_{1a}\, t' + W_{1b}\, t''}{W_{1a} + W_{1b}}. \qquad (143)$$

Dieselbe Gleichungsform gilt für Heizkörper 2^a und 2^b und lautet sinngemäss somit:

$$\vartheta_2 = \frac{W_{2a}\, t' + W_{2b}\, t''}{W_{2a} + W_{2b}}. \qquad (144)$$

Setzt man das gefundene ϑ_1 in Gl. 141 ein, so ergiebt sich bezogen auf t' und t'':

$$v_1 = \frac{W_{1a} + W_{1b}}{A\, d_1^{\,2}\,(t' - t'')} \qquad (145)$$

und unter entsprechender Einsetzung von ϑ_2 in die Gleichung:

$$v_2 = \frac{W_{2a} + W_{2b}}{A\, d_2^{\,2}\,(t' - t'')}. \qquad (146)$$

Der Stromkreis der Heizkörper 1^a und 1^b ist: $B\,1^b\,1^a\,F\,A\,B$ oder wieder kurz in den Durchmessern der Theilstrecken ausgedrückt: d_1 und d_6; der Stromkreis der Heizkörper 2^a und 2^b dagegen: $D\,2^b\,2^a\,G\,F\,A\,B\,C\,D$ oder kurz d_2, d_5, d_6, d_7 und d_8.

Die Gleichung für die Widerstandshöhen, wenn allgemein der Ausdruck $\left(\frac{\varrho}{d}\,l + \Sigma\zeta\right)$ wieder mit Z bezeichnet wird, bedeutet somit für:

Heizkörper 1^a und 1^b:

$$a_{1b}\,h_{1b} - a_{1a}\,h_{1a} = v_1^{\,2}\,Z_1 + v_6^{\,2}\,Z_6, \qquad (147)$$

Heizkörper 2^a und 2^b:

$$a_{2b}\,h_{2b} - a_{2a}\,h_{2a} = v_2^{\,2}\,Z_2 + v_5^{\,2}\,Z_5 + v_6^{\,2}\,Z_6 + v_7^{\,2}\,Z_7 + v_8^{\,2}\,Z_8, \qquad (148)$$

wenn mit a_{1a}, a_{1b}, a_{2a} und a_{2b} die aus den Temperaturen des Wassers im Steigestrange und in den entsprechenden Fallsträngen zu bildenden Werthe von a (s. Gl. 132) bezeichnet werden. a_{1a} und a_{2a} sind zu bilden für die Temperaturen t' und t'', a_{1b} und a_{2b} für t' und ϑ_1 bezw. ϑ_2.

Digitized by Google

Fall 3. *Die Wärme-Abgabe findet durch Heizkörper wie bei Fall 1 statt; dieselben liegen höher als der Kessel. Die Zu- und Ableitung des Wassers der über einander liegenden Heizkörper erfolgt durch ein gemeinsames Rohr, so dass die tiefer liegenden Heizkörper als Zuwasser das Mischwasser der höher liegenden erhalten.*

Dieser Fall findet in der Praxis zur Ersparniss von senkrechten Rohrsträngen mitunter noch Anwendung, trotzdem er nicht besonders empfohlen werden soll, da die Wärme-Abgabe der an einen Strang angeschlossenen Heizkörper von einander abhängt. In Fig. 45 ist die Anordnung eines derartigen Stranges gegeben, ein zweiter Strang ist nur angedeutet.

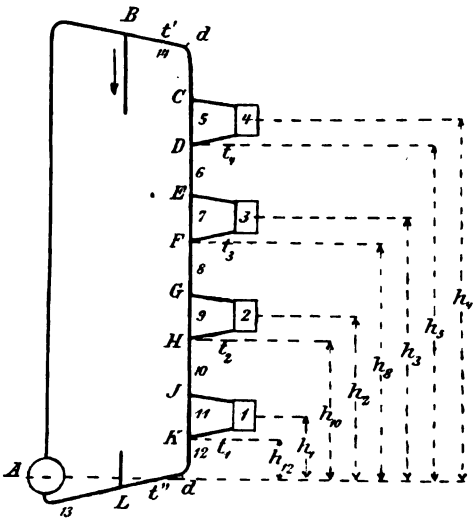


Fig. 45.

Die Eintrittstemperatur des Wassers in den gemeinschaftlichen Strang bei C sei wieder t', die Austrittstemperatur desselben bei K t''; beide werden angenommen. Gewöhnlich giebt man dem Strange den gleichen Durchmesser, d. h. es ist $d = d_5 = d_6 = d_7 = d_8$ u. s. f., was auch in diesem Falle angenommen werden soll, nur die Temperaturen des Wassers sind in den verschiedenen Strecken des Stranges verschieden, die Bestimmung derselben ist zunächst und zwar aus den gegebenen Temperaturen t' und t'' abzuleiten.

Die Temperatur des Wassers in der Strecke CD ist t'. Im Heizkörper 4 kühlt sich das Wasser von t' auf t_4 ab, bei D mischt sich dasselbe mit Wasser von der Temperatur t'; der eingetretene Wärmeverlust des gesammten dem Strange zufliessenden Wassers war bei D durch W_4 hervorgerufen, somit ist die erforderliche Geschwindigkeit v in der Theilstrecke d_6, deren Durchmesser $= d$ sein soll, wenn A wieder die frühere Bedeutung (s. S. 217) hat:

$$v = \frac{W_4}{A d^2 (t' - t_6)} \quad \text{also:} \quad A d^2 v = \frac{W_4}{t' - t_6}.$$

Auf gleiche Weise ergiebt sich für die anderen Heizkörper:

$$v = \frac{W_3}{A d^2 (t_6 - t_8)} \quad \text{also:} \quad A d^2 v = \frac{W_3}{t_6 - t_8},$$

$$v = \frac{W_2}{A d^2 (t_8 - t_{10})} \quad \text{also:} \quad A d^2 v = \frac{W_2}{t_8 - t_{10}},$$

Digitized by Google

$$v = \frac{W_1}{Ad^2(t_{10} - t'')} \quad \text{also:} \quad Ad^2 v = \frac{W_1}{t_{10} - t''}.$$

Für die Theilstrecken BC und GH muss sein:

$$v = \frac{W_1 + W_2 + W_3 + W_4}{Ad^2(t' - t'')} \quad \text{also:} \quad Ad^2 v = \frac{W_1 + W_2 + W_3 + W_4}{t' - t''}.$$

Setzt man zur Vereinfachung $W_1 + W_2 + W_3 + W_4 = \Sigma W$, so folgt aus diesen Gleichungen bezogen auf t' und t'' die erforderliche Mischtemperatur:

$$t_6 = t' - \frac{W_4(t' - t'')}{\Sigma W} = t'' + \frac{(W_1 + W_2 + W_3)(t' - t'')}{\Sigma W}, \quad (149)$$

$$t_8 = t' - \frac{(W_3 + W_4)(t' - t'')}{\Sigma W} = t'' + \frac{(W_1 + W_2)(t' - t'')}{\Sigma W}, \quad (150)$$

$$t_{10} = t' - \frac{(W_2 + W_3 + W_4)(t' - t'')}{\Sigma W} = t'' + \frac{W_1(t' - t'')}{\Sigma W}, \quad (151)$$

$$t_{12} = t' - \frac{\Sigma W(t' - t'')}{\Sigma W} = t'' \text{ (wie von Haus aus angenommen).}$$

Die Eintrittstemperaturen des Wassers in die einzelnen Heizkörper sind somit bestimmt, die Austrittstemperaturen t_1, t_2, t_3 und t_4 bleiben noch zu bestimmen übrig.

Würde wie früher ein jeder Heizkörper getrennte Wasser-Zu- und Ableitung erhalten, so würde die Eintrittstemperatur stets t', die Austrittstemperatur t'' betragen. Es muss nun auch im vorliegenden Falle angenommen werden, dass die Wassermenge für jeden einzelnen Heizkörper so gross ist, um bei Abkühlung von t' auf t'' die erforderliche Wärmemenge zu liefern.

In der Theilstrecke KL (Theilstr. 12) fliesst die auf t'' abgekühlte Wassermenge sämmtlicher Heizkörper, in der Strecke JK die ebenfalls auf t'' abgekühlte Wassermenge der Heizkörper *2*, *3* und *4*. Dass diese Wassermenge thatsächlich nicht die Temperatur t'', sondern die Temperatur t_{10} besitzt, beruht in der Beimischung des für Heizkörper *1* bestimmten von t' auf t'' noch nicht abgekühlten Wassers. Wird die Wassermenge sämmtlicher Heizkörper mit Q, die für die Heizkörper *2*, *3* und *4* mit Q', die durch Heizkörper *1* fliessende mit Q_1 bezeichnet, so muss sein:

$$Q = Q' + Q_1.$$

Nun ist aber nach Ausdruck 128:

$$Q = \frac{\Sigma W}{t' - t''},$$

ferner nach dem vorstehend Gesagten:

Digitized by Google

$$Q' = \frac{W_2 + W_3 + W_4}{t' - t''},$$

und endlich:

$$Q_1 = \frac{W_1}{t_{10} - t_1}.$$

Es muss also sein:

$$\frac{\Sigma W}{t' - t''} = \frac{W_2 + W_3 + W_4}{t' - t''} + \frac{W_1}{t_{10} - t_1}.$$

Hieraus folgt:

$$t' - t'' = t_{10} - t_1,$$

also:

$$t_1 = t_{10} - (t' - t''). \qquad (152)$$

Genau unter gleichen Voraussetzungen folgt:

$$t_2 = t_8 - (t' - t''), \qquad (153)$$
$$t_3 = t_6 - (t' - t''), \qquad (154)$$
$$t_4 = t' - (t' - t'') = t''. \qquad (155)$$

Sämmtliche Temperaturen sind nun bekannt, da sich die Temperaturen der Theilstrecken *5*, *7* und *9* gleich denjenigen der vorhergehenden Theilstrecken stellen.

Die Gleichungen für die Stromkreise der einzelnen Heizkörper können nur berechnet werden, wenn die wirksamen Druckhöhen der einzelnen Heizkörper bekannt sind. Bezeichnet man die wirksame Druckhöhe für den Stromkreis des Heizkörpers *1* mit $(ah)_1$, diejenige für den Stromkreis des Heizkörpers *2* mit $(ah)_2$ u. s. f., so muss gemäss Fig. 45 sein:

$$(ah)_1 = a_1 (h_1 - h_{12}) + a_{12} h_{12}, \qquad (156)$$
$$(ah)_2 = a_2 (h_2 - h_{10}) + a_{10} (h_{10} - h_{12}) + a_{12} h_{12}, \qquad (157)$$
$$(ah)_3 = a_3 (h_3 - h_8) + a_8 (h_8 - h_{10}) + a_{10} (h_{10} - h_{12}) + a_{12} h_{12}, \qquad (158)$$
$$(ah)_4 = a_4 (h_4 - h_6) + a_6 (h_6 - h_8) + a_8 (h_8 - h_{10}) + a_{10} (h_{10} - h_{12}) + a_{12} h_{12}. \qquad (159)$$

Die Bildung der verschiedenen a nach der Gl. 132 hat nun gemäss der verschiedenen Dichtigkeiten des Wassers zu erfolgen bei:

a_1 für die Temperaturen t' und t_1,
a_2 „ „ „ t' „ t_2,
a_3 „ „ „ t' „ t_3,
a_4 „ „ „ t' „ t_4,
a_6 „ „ „ t' „ t_6,
a_8 „ „ „ t' „ t_8,
a_{10} „ „ „ t' „ t_{10},
a_{12} „ „ „ t' „ t_{12}.

Digitized by Google

Die Gleichungen für die Stromkreise lauten nun gemäss Gl. 133, wenn wieder allgemein der Ausdruck $\left(\frac{\varrho}{d} l + \Sigma\zeta\right)$ mit Z bezeichnet wird:

$$(ah)_1 = \frac{v_1^2}{2g} Z_1 + \frac{v_{12}^2}{2g} Z_{12} + \frac{v_{13}^2}{2g} Z_{13} + \frac{v_5^2}{2g} Z_5 + \ldots . \frac{v_{10}^2}{2g} Z_{10},$$

$$(ah)_2 = \frac{v_2^2}{2g} Z_2 + \frac{v_{10}^2}{2g} Z_{10} + \ldots . \frac{v_{14}^2}{2g} Z_{14} + \frac{v_5^2}{2g} Z_5 + \ldots . \frac{v_8^2}{2g} Z_8,$$

$$(ah)_3 = \frac{v_3^2}{2g} Z_3 + \frac{v_8^2}{2g} Z_8 + \ldots . \frac{v_{14}^2}{2g} Z_{14} + \frac{v_5^2}{2g} Z_5 + \frac{v_6^2}{2g} Z_6,$$

$$(ah)_4 = \frac{v_4^2}{2g} Z_4 + \frac{v_6^2}{2g} Z_6 + \ldots . \frac{v_{14}^2}{2g} Z_{14}.$$

Die erforderlichen Geschwindigkeiten sind nach Gl. 130 in der

Theilstrecke 1: $v_1 = \frac{W_1}{A d_1^2 (t_{10} - t_1)}$,

„ 2: $v_2 = \frac{W_2}{A d_2^2 (t_8 - t_2)}$,

. . .

. . .

„ 5: $v_5 = \frac{W_1 + W_2 + W_3}{A d_5^2 (t_5 - t'')}$,

„ 6: $v_6 = \frac{W_1 + W_2 + W_3}{A d_6^2 (t_6 - t'')}$,

„ 7: $v_7 = \frac{W_1 + W_2}{A d_7^2 (t_7 - t'')}$ u. s. f.

Wie bereits erwähnt, wird meist $d_{14} = d_5 = d_6 = \ldots . d_{12}$ gemacht, d. h. dem Fallstrange ein durchweg gleicher Durchmesser gegeben.

Fall 4. *Die Wärme-Abgabe findet durch Heizkörper in Gestalt einer längeren Rohrleitung statt. Die Heizkörper liegen höher als der Kessel. Die Ein- und Austrittstemperatur des Wassers ist bei allen die gleiche (t' bezw. t'').*

Heizkörper, die nicht über 3000—4000 *WE* stündlich abzugeben haben, aus Rohr von mindestens dem doppelten Durchmesser des zugehörigen Leitungsrohres bestehen und nur sogenannte „schlanke" Bogen enthalten, können wie die andern Heizkörper nach Fall 1 behandelt werden. Der vorstehende Fall findet hauptsächlich Anwendung bei Gewächshaus- oder ähnlichen Anlagen.

In Fig. 46 besteht der Heizkörper aus der Rohrleitung BB_1C vom Durchmesser D, das zugehörige Leitungsrohr aus der Strecke CAB

Digitized by Google

vom Durchmesser d. Die Rohrlänge L des Heizkörpers ist nach Mass-

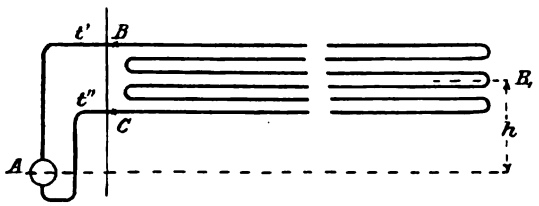


Fig. 46.

gabe des Wärmebedarfs W bestimmt worden, die erforderliche Geschwindigkeit des Wassers im Heizkörper ist gemäss Gl. 130:

$$V = \frac{W}{A D^2 (t' - t'')}.$$

Die wirksame Druckhöhe ah der Anlage hat die Widerstände des ganzen Stromkreises einschliesslich derjenigen im Heizkörper selbst zu überwinden. Die Widerstandshöhe im Heizkörper ist $\frac{V^2}{2g}\left(\frac{P}{D}L + \Sigma Z\right)$, somit muss sein:

$$ah = \frac{v^2}{2g}\left(\frac{\varrho}{d} l + \Sigma\zeta\right) + \frac{V^2}{2g}\left(\frac{P}{D}L + \Sigma Z\right). \quad (160)$$

(Z ist das grosse ζ, nicht zu verwechseln mit dem Z auf S. 228.)

Wird infolge eines geringen Durchmessers der Rohrleitung des Heizkörpers oder infolge einer grossen Länge derselben die Widerstandshöhe im Heizkörper so bedeutend, dass ah nicht ausreichend ist zur Ueberwindung aller Widerstände im Stromkreise, so muss man den Heizkörper in zwei oder mehrere gleiche Theile (s. Fig. 47) zer-

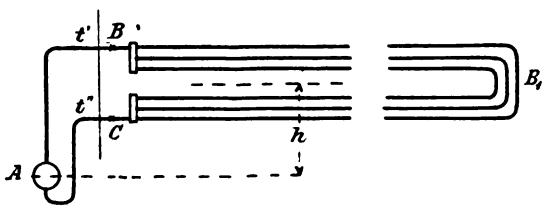


Fig. 47.

legen, von denen alsdann für Bestimmung der Widerstandshöhe nur einer in Frage zu kommen hat. Es wird dieser Fall bei Gewächshäusern, besonders wenn nur ein geringes h zur Verfügung steht, häufig in Anwendung zu treten haben. Es kann auch der Fall, wie

Digitized by Google

Fig. 48 angiebt, erwünscht erscheinen. Da in diesem Falle die beiden gleich grossen Heizkörper über einander liegen und einem Raume zugehören, ändert sich gegen Fig. 47 in der Berechnung nichts, nur

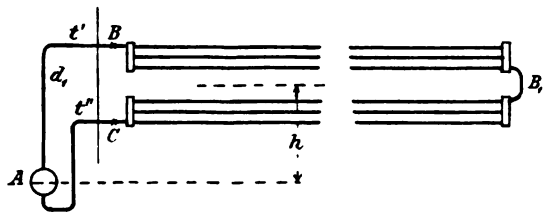


Fig. 48.

dass die Rohrverbindung bei B_1 von gleichem Durchmesser wie d als zu dieser Leitung gehörig zu betrachten ist und die Widerstände in dieser Rohrverbindung in $\Sigma\zeta$ Berücksichtigung zu finden haben.

Fall 5. *Die Wärme-Abgabe findet durch Heizkörper in Gestalt von Standröhren statt. Die Heizkörper liegen höher als der Kessel. Das Wasser fliesst von einem Heizkörper durch den anderen.*

Dieser Fall, durch Fig. 49 veranschaulicht, kommt als sogenannte „Standrohrheizung" meist in kleineren Räumen (Gefängnisszellen, Aborten u. s. w.) mitunter in Frage. Die Eintrittstemperatur des Wassers beim obersten Standrohr ist t', die Austrittstemperatur beim untersten t'', beide sind anzunehmen. Die Rohrleitung zwischen den Standröhren hat stets den gleichen Durchmesser, es bildet also, wie Fig. 49 darlegt, jeder Strang nur eine Theilstrecke mit mehreren in dieselbe eingeschalteten Heizkörpern.

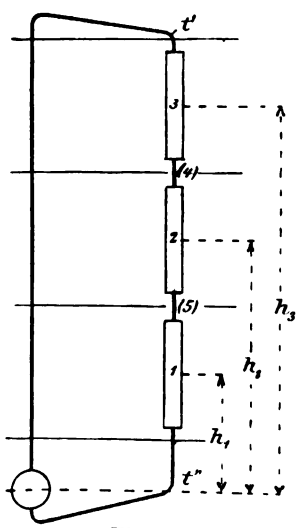


Fig. 49.

Zunächst hat die Temperaturbestimmung zu erfolgen. Wird die Eintrittstemperatur des Wassers für Heizkörper 1 gleich der Austrittstemperatur vom Heizkörper 2 mit t_6, diejenige für Heizkörper 2 bezw. 3 mit t_5 bezeichnet, so muss die erforderliche Geschwindigkeit v in dem Leitungsrohre vom Durchmesser d vor und hinter

dem Standrohre 1: $v = \frac{W_1}{A d^2 (t_5 - t'')}$,

dem Standrohre 2: $v = \frac{W_2}{A d^2 (t_4 - t_5)}$,

Digitized by Google

dem Standrohre 3: $v = \frac{W_3}{A d^2 (t' - t_4)}$

sein. Für den ganzen Strang ist die erforderliche Geschwindigkeit:

$$v = \frac{W_1 + W_2 + W_3}{A d^2 (t' - t'')} = \frac{\Sigma W}{A d^2 (t' - t'')}.$$

Aus diesen Gleichungen ergiebt sich, wie in Fall 3, bezogen auf t' oder t'':

$$t_4 = t' - \frac{W_3 (t' - t'')}{\Sigma W} = t'' + \frac{(W_1 + W_2)(t' - t'')}{\Sigma W}, \qquad (161\,a)$$

$$t_5 = t' - \frac{(W_2 + W_3)(t' - t'')}{\Sigma W} = t'' + \frac{W_1 (t' - t'')}{\Sigma W}. \qquad (161\,b)$$

Die wirksame Druckhöhe für den Stromkreis des Stranges und der Heizkörper möge mit ah bezeichnet werden; der Durchmesser des Leitungsrohres ist d, die Länge desselben l u. s. w.

Da die Widerstandshöhe im Standrohre 1: $\frac{V_1^2}{2g}\left(\frac{P_1}{D_1} L_1 + \Sigma Z_1\right)$, im Standrohre 2: $\frac{V_2^2}{2g}\left(\frac{P_2}{D_2} L_2 + \Sigma Z_2\right)$ u. s. w. ist, so folgt nach Fig. 49:

$$ah = \frac{v^2}{2g}\left(\frac{\varrho}{d} l + \Sigma\zeta\right) + \frac{V_1^2}{2g}\left(\frac{P_1}{D_1} L_1 + \Sigma Z_1\right) + \frac{V_2^2}{2g}\left(\frac{P_2}{D_2} L_2 + \Sigma Z_2\right) + \\ + \frac{V_3^2}{2g}\left(\frac{P_3}{D_3} L_3 + \Sigma Z_3\right), \qquad (162)$$

Da sich wieder ah aus den wirksamen Druckhöhen der einzelnen Strecken des Stranges gemäss der in denselben herrschenden Temperaturen zusammensetzt, so hat man nach Fig. 49 für:

$$ah = a_1 h_1 + a_2 (h_2 - h_1) + a_3 (h_3 - h_2) \qquad (163)$$

zu setzen.

Sind die Standröhren nicht länger als die Höhe eines oder zweier gewöhnlichen Stockwerke und von mindestens dem doppelten Durchmesser des Stranges, so kann man sie wie einfache Heizkörper (Fall 1) behandeln, d. h. statt Gl. 162 setzen:

$$ah = \frac{v^2}{2g}\left(\frac{\varrho}{d} l + \Sigma\zeta\right),$$

nur ist alsdann für jedes Standrohr ζ mit je 1 in Rechnung zu bringen (s. S. 219).

Gehen die einzelnen über einander liegenden Standröhren in einander über, d. h. entfallen die Rohrstücke d_4 und d_5, so ändert sich in der Berechnung gar nichts.

Digitized by Google

B) Praktische Anwendung der Theorie.

Für den richtigen Gang einer Warmwasserheizung muss gemäss Gl. 138 u. f. die Summe der Widerstandshöhen aller Theilstrecken eines Stromkreises immer gleich der wirksamen Druckhöhe des zum Stromkreise gehörigen Heizkörpers sein, mithin kann man die Rohrdurchmesser (oder Geschwindigkeiten) sämmtlicher Theilstrecken zunächst eines Stromkreises, alsdann nach einander dieselben der noch nicht bestimmten Theilstrecken der anderen Stromkreise annehmen, nur muss die Wahl eine derartige sein, dass die Summe der sich dann für jeden Stromkreis ergebenden Widerstandshöhen gleich ist der wirksamen Druckhöhe des zu dem betreffenden Stromkreise gehörigen Heizkörpers. Es darf als selbstverständlich gelten, dass ohne einen weiteren Anhalt zu besitzen, eine derartige richtige Wahl an erster Stelle nie glücken wird und dass man daher gezwungen ist, probeweise recht oft eine andere Wahl zu treffen. Diese Wahl braucht sich allerdings für jeden Stromkreis, sofern man der Uebereinstimmung von wirksamer Druckhöhe und Summe der Widerstandshöhen durch fortgesetzte probeweise Annahme immer näher gekommen ist, auf eine immer geringere Anzahl Durchmesser zu erstrecken, bis man endlich die noch übrig bleibende kleine Differenz durch die andere Wahl des Durchmessers nur einer Theilstrecke zum Ausgleiche bringen kann.

Man ersieht also, dass das Verfahren um so weniger Mühe und Arbeit verursacht, je richtiger die erste Wahl der Durchmesser aller Theilstrecken erfolgt, dass aber dasselbe nur dann zu empfehlen ist, wenn es ein Mittel giebt, die erste Wahl so treffen zu können, dass die Uebereinstimmung der wirksamen Druckhöhe (ah) mit der Summe der Widerstandshöhen $\left(\Sigma\left[\left(\frac{v^2}{2g}\frac{\varrho}{d}l+\Sigma\zeta\right)\right]\right)$ bei allen Stromkreisen schon nahezu erreicht wird, und wenn es ferner möglich ist, das letzte Richtigstellen eines, oder doch nur weniger Durchmesser ohne nennenswerthen Aufwand an Zeit und rechnerischer Arbeit bewirken zu können.

Mit einer gewöhnlichen Faustregel für die erstmalige Bestimmung aller Durchmesser würde man nur selten das gewünschte Ziel erreichen, da eine Faustregel unmöglich annähernd allen vorkommenden Fällen der Ausdehnung und Anordnung einer Warmwasserheizung gerecht werden kann. Es ist also nur dann möglich, den angedeuteten Weg einzuschlagen, wenn man für alle möglichen in der Praxis vorkommenden Fälle besondere Faustregeln aufstellt, die bei der Anwendung Werthe liefern, die sich von der Wahrheit nicht gar weit entfernen. Von Einfluss für die Aufstellung dieser Faustregeln wird sowohl die horizontale und vertikale Ausdehnung der Anlage, als auch die Entfernung der Mitte der untersten Heizkörper von der Mitte des Kessels sein. Bei den senkrechten Fallsträngen wird es ferner darauf ankommen, die Rohrdurchmesser derartig zu erhalten,

Digitized by Google

dass sie einestheils nicht zu klein sich ergeben, damit die Durchmesser der Vertheilungs- und Sammelleitung möglichst gering ausfallen, anderntheils aber nicht zu weit werden, damit das Unterbringen in Mauerschlitzen und die Anwendung nicht zu grosser Absperrventile für die Heizkörper möglich ist. Bei der Vertheilungs- und Sammelleitung dagegen wird man darauf achten müssen, dass die Geschwindigkeit des Wassers nach dem Kessel zu wächst, damit die weitesten Rohre der Anlage, da der Preis schneller als der Durchmesser zunimmt, nicht zu theuer werden.

In der Praxis sind zwei Fälle zu unterscheiden: Anschlag und Ausführung. Für den Anschlag ist es erwünscht, die Rohrweiten lediglich Tabellen entnehmen zu können, der Ausführung dagegen wird etwas mehr Zeit für die Berechnung zuzusprechen sein, immerhin soll auch diese sich auf ein möglichst geringes Mafs beschränken.

Unter Berücksichtigung aller dieser Umstände sind die Tabellen 14, I, II und III aufgestellt worden, die einestheils für den Kostenanschlag sichere Annahmen gestatten, anderntheils die genaue Berechnung auf ein sehr geringes Mafs an aufzuwendender Zeit beschränken.

α) Annahme der Rohrweiten. Für den Kostenanschlag sind sämmtliche Rohrweiten, für die Ausführung der grösste Theil derselben nach der Tabelle 14, I anzunehmen. Die Tabelle ist nur für Niederdruck-Warmwasserheizung gültig und für die Temperaturunterschiede $t' - t'' = 20^0$ und $t' - t'' = 30^0$ bestimmt. In der Praxis wird man mit diesen beiden Temperaturdifferenzen mit Ausnahme bei Fall 3 zumeist auskommen, wenn nicht, so kann man trotzdem die Tabelle benutzen, sofern man die Werthe derselben durch die ihnen zukommende Temperaturdifferenz dividirt und den Quotienten mit der in Frage stehenden Temperaturdifferenz multiplicirt.

Die Tabelle zerlegt sich in zwei Hauptabtheilungen, d. h. in die Tabelle A für die „Hauptleitung“ und in diejenige B für die „Heizkörper-Anschlüsse“. Jede dieser Tabellen zerfällt wieder in zwei Theile, d. h. in eine Tabelle für Gebäude bei gewöhnlicher Stockwerkshöhe bis zu etwa 3 Stockwerken und in eine solche über 3 Stockwerke. Ausgedrückt wird dies durch die Ueberschriften: „Senkrechter Abstand des Kessels vom höchstgelegenen Heizkörper der Anlage bis zu 12 m“ und desgleichen „über 12 m“. Die Zahl 12 ist nur als ungefähre Grenze anzusehen, sollte bei drei Stockwerken der betreffende Abstand etwas mehr betragen, so kann ebenfalls noch die erste Abtheilung Benutzung finden, sofern man sicher gehen, d. h. für den Anschlag lieber etwas zu weite als zu enge Durchmesser erhalten will.

Aus der Tabelle B „Heizkörper-Anschlüsse“ bestimmen sich auch unmittelbar die Rohrweiten der Fallstränge.

Ueber die Tabelle I. A. „Hauptleitung“ ist zu bemerken, dass unter dem Begriffe „Hauptleitung“ nach Fig. 43 die Leitung

Digitized by Google

DEFABC verstanden werden soll. Streng genommen gehört entweder *BC* und *DE* nicht zu derselben oder es gehören zu ihr auch die Strecken *BJ*, *HE* und *MF* und in der That lassen sich die letztgenannten Strecken auch mit Hilfe dieser Tabellen bestimmen. Es soll jedoch aus Gründen der einfacheren Behandlung unter „Hauptleitung" wie angegeben die Vertheilungsleitung vom Kessel bis zum obersten Heizkörper des vom Kessel am entferntesten gelegenen Fallstrangs und die Sammelleitung vom untersten Heizkörper desselben Fallstrangs bis zum Kessel verstanden werden, während die von dieser Leitung abzweigenden oder in dieselbe einmündenden Stränge als „Fallstränge" angesehen werden sollen und mit Hilfe der nächsten Tabelle „*B.* Heizkörper-Anschlüsse" zu bestimmen sind. Besitzt die Anlage mehrere Hauptleitungen, z. B. wenn der Kessel nicht am Ende der Anlage, sondern mehr in der Mitte derselben liegt und nach verschiedenen Seiten Hauptleitungen abzweigen, so sind diese getrennt von einander zu behandeln. Die horizontal ausgedehnteste Hauptleitung wird zunächst behandelt, alsdann die kürzeren. Die gemeinsamen Theilstrecken mehrerer Hauptleitungen werden somit stets durch die ausgedehnteste bestimmt. Würde also z. B. in Fig. 43 noch nach links eine kurze Hauptleitung sich abzweigen, das Steigerohr und ein Sammelrohr aber mit der rechten Hauptleitung gemeinsam sein, so wäre zunächst die rechte Hauptleitung zu dimensioniren, alsdann die linke. Für die letzte wäre dann das gemeinsame Steigerohr und Sammelrohr bereits bestimmt, die Durchmesser der übrigen Theilstrecken aber müssten so gewählt werden, als ob die rechte Seite gar nicht vorhanden wäre.

Für die Wahl der Einzeltabellen zur Bestimmung der Hauptleitungen ist jederzeit der tiefste, d. h. der im untersten Stockwerke gelegene (aber über dem Kessel befindliche) zu der betreffenden Hauptleitung gehörige Heizkörper massgebend, auch wenn derselbe nicht dem letzten Fallstrange angehört. In Fig. 43 ist also die senkrechte Entfernung des Heizkörpers 1 massgebend, würde indessen derselbe nicht vorhanden sein, so würde trotzdem die gleiche Tabelle benutzt werden müssen, weil die Heizkörper 4 und 5 dieselbe Höhenlage besitzen. Ferner ist für die Wahl der Einzeltabellen die horizontale Ausdehnung der zu bestimmenden Hauptleitung, d. h. also die horizontale Entfernung des Kessels vom letzten Fallstrange der Hauptleitung (in den Tabellen mit *E* bezeichnet) zu berücksichtigen. Als grösste horizontale Ausdehnung sind 100 m angenommen worden, was wohl in der Praxis ausreichen wird, doch können bei etwas grösserer Ausdehnung bis etwa 115 m die Tabellen ebenfalls noch Verwendung finden.

Ueber den Gebrauch der Tabellen kann ein Zweifel nicht bestehen. Würde z. B. in Fig. 43: $t' - t'' = 20^0$, der senkrechte Abstand des höchstgelegenen Heizkörpers der Anlagen vom Kessel 10 m,

Digitized by Google

die horizontale Entfernung des Kessels vom letzten Fallstrange $E = 40$ m, die senkrechte Entfernung der Mitte des untersten Heizkörpers von der Mitte des Kessels 2 m, die Wärmeabgabe der Heizkörper 1 und 2 im Ganzen 8000 *WE*, der Heizkörper 3, 6 und 7 im Ganzen 14000 *WE*, der Heizkörper 4 und 5 im Ganzen 7000 *WE* betragen, so müsste die Tabelle *b* auf Seite 38 d. II. Bandes benutzt werden. Für 2 m Abstand des Heizkörpers 1 ist alsdann bei 8000 *WE* der Theilstrecke *DE* ein Durchmesser von 0,049 m zu geben, da ein Rohr von 0,043 m Durchmesser nur 6000 *WE* zu fördern vermag. Auf die Theilstrecke *EF* kommen $8000 + 14000 = 22000$ *WE*, der Rohrdurchmesser muss daher nach derselben Horizontalreihe dieser Tabelle 0,076 m betragen; auf die Theilstrecke *FAB* kommen $8000 + 14000 + 7000 = 29000$ *WE*, folglich kann ein Durchmesser von 0,082 m gewählt werden. Falls die geforderten Wärmeeinheiten in der Tabelle nicht genau enthalten sind, wähle man in der Regel den der nächst höheren Zahl zukommenden Durchmesser, bei nicht sehr bedeutenden Abweichungen kann man jedech auch ohne Bedenken den nach der Tabelle etwas zu kleinen Durchmesser nehmen. Der Ausgleich der verschieden gewählten Durchmesser findet durch die Dimensionirung der Fallstränge statt. Die nach den Tabellen anzunehmenden Durchmesser der Hauptleitungen können als endgültige angesehen werden, d. h. die gewählten Mafse können zwar, aber brauchen nicht für die Ausführung einer Aenderung zu unterliegen. Will der Praktiker an der Hauptleitung sparen, so muss er die Fallstränge weiter nehmen, da die Tabellen indessen unter Annahme nicht sehr günstiger Verhältnisse aufgestellt worden sind, so kann bei der Ausführung vielfach die Hauptleitung um ein Rohrmafs enger gehalten werden, als die Tabellen fordern; man wird sie auch für den Anschlag bereits enger in Ansatz bringen können, wenn die Tabellen für die Fallstränge vom praktischen Standpunkte aus etwas zu kleine Werthe liefern und man diese daher grösser annimmt.

Die Tabelle „I. B. Heizkörper-Anschlüsse“ dient zur Annahme der Durchmesser der übrigen Rohrleitungen. Für den Fallstrang einer Anlage und die zu demselben gehörigen Heizkörper-Anschlüsse ist zunächst die betreffende Sondertabelle zu wählen. Die Wahl richtet sich nach dem vom Kessel aus gerechnet niedrigst gelegenen Heizkörper des zu berechnenden Fallstrangs. Jede dieser Tabellen enthält zunächst 4 Spalten, deren Wahl für den betreffenden Fallstrang vorerst zu bestimmen ist. Da *E* die horizontale Entfernung des letzten Fallstrangs vom Kessel gemessen im Laufe der Rohrleitung bedeutet, so ist für diesen jederzeit die erste Spalte zu wählen, für den um 25 bis 50 m näher dem Kessel liegenden Fallstrang die zweite Spalte u. s. f. Ist also z. B. *E* für eine Anlage 50 m, für eine andere 80 m und liegt bei beiden alle 8 m weiter nach dem Kessel zu gerechnet je ein Fallstrang, hat also

Digitized by Google

die erste Anlage 6, die letzte 10 Fallstränge, so würde bei beiden Anlagen für die letzten 4 Fallstränge, da dieselben die Entfernung von 24 m umfassen, die Spalte 1, alsdann für den 5. und 6. Fallstrang der ersten Anlage, sowie für den 5. 6. und 7. Fallstrang der zweiten Anlage, da diese in einer Entfernung von über 25 m, aber unter 50 m vom letzten Fallstrange entfernt liegen, Spalte 2, für den 8. 9. und 10. Fallstrang der zweiten Anlage Spalte 3 zu benutzen sein. Sind bei einer Anlage mehrere Hauptleitungen vorhanden, so ist dieselbe anzusehen, als ob sie aus Vereinigung mehrerer Anlagen entstanden wäre, d. h. es ist für die Fallstränge einer jeden Hauptleitung ein anderes E und zwar dasjenige einzuführen, das der horizontalen Entfernung (gemessen im Laufe der Rohrleitung) des vom Kessel am entferntesten gelegenen Fallstrangs der betreffenden Hauptleitung entspricht. Zweigt also vom Kessel eine Hauptleitung nach rechts mit 80 m und eine solche nach links mit 50 m horizontaler Ausdehnung ab, so ist für die erste $E = 80$, für die zweite $E = 50$ zu setzen und genau so zu verfahren, als ob, wie beispielsweise oben angeführt, zwei getrennte Anlagen vorhanden wären. Zunächst sind die einzelnen Heizkörper-Anschlüsse der Fallstränge zu bestimmen, also ist in der betreffenden Spalte die Höhenlage der einzelnen an dem Strange liegenden Heizkörper aufzusuchen und nach Massgabe der von ihnen abzugebenden Wärmemenge der Rohrdurchmesser abzulesen. Mit dem letzten Fallstrange einer jeden Hauptleitung ist hierbei zu beginnen und alsdann zu den weiter vorgelegenen überzugehen.

Würde also in Fig. 43 der letzte Fallstrang vom Kessel 40 m abliegen, Heizkörper 1: 3500, Heizkörper 2: 4500, Heizkörper 3: 5500 *WE* abzugeben haben und $h_1 = 2$ m, $h_2 = 10$ m, $h_3 = 6$ m betragen, so müsste bei $t' - t'' = 20^0$ die Tabelle k und in dieser Spalte 2 gewählt werden und würden sich die Heizkörperanschlüsse für Heizkörper 1: $d_1 = 0{,}034$ m', für Heizkörper 2: $d_2 = 0{,}020$ m, für Heizkörper 3: $d_3 = 0{,}020$ m ergeben.

Die Rohrweiten der Fallstränge findet man durch Addition der Querschnitte der betreffenden Heizkörperanschlüsse. Für den letzten Fallstrang in Fig. 43 würde nur noch d_{12} unbestimmt sein; durch diese Theilstrecke fliesst das Wasser von d_3 und d_1, also ist der Querschnitt bei den obigen Annahmen zu machen: $908 + 314 =$ 1222 qmm. Da dieser Querschnitt keinem Handelsmafse entspricht, so muss dafür der nächstliegende Querschnitt, also 1452 qmm, d. h. $d_{12} = 0{,}043$ m, gewählt werden.

β) Nachrechnung der angenommenen Rohrweiten. (Ausführung.) Für die Nachrechnung der angenommenen Rohrweiten dienen die Tabellen 14, II und III.

Die Tabelle 14, II enthält die Werthe von $a = \frac{\gamma' - \gamma''}{\frac{\gamma' + \gamma''}{2}}$ für ver-

Digitized by Google

schiedene Werthe von t' und t''. Da t' und t'' bei einer Anlage für alle Heizkörper gleich gross angenommen werden kann, so bleibt auch der Werth von a für alle Heizkörper derselbe. Eine Ausnahme tritt nur in dem Falle ein, dass das Zuwasser eines Heizkörpers das Abwasser eines andern und in einem andern Raume befindlichen Heizkörpers ist (s. Fall 2, 3 und 5). Da alsdann die angeführte Tabelle nicht ausreichen wird, so muss mit Hilfe des angeführten Ausdruckes von a dieses berechnet werden. Zu diesem Zwecke finden sich in der Tabelle 14, II ausser den berechneten Werthen von a noch die Werthe der Dichtigkeit (γ) des Wassers für die verschiedenen Temperaturen von 50—100° angegeben.

Die Tabelle 14, III dient zur Bestimmung der Geschwindigkeits- und Widerstandshöhen und der möglichen stündlich zu fördernden Wärmemenge; sie ist in folgender Weise entstanden.

Aus der Gl. 130:

$$W = Avd^2(t' - t'')$$

ersieht man, dass einem gegebenen Durchmesser, einem gegebenen $t' - t''$ und einem gegebenen v ein bestimmtes W entsprechen muss. Die auf den rechten Seiten der Tabellen unter I und II befindlichen Zahlen geben daher für $t' - t'' = 20°$ und $t' - t'' = 30°$ für die verschiedenen Geschwindigkeiten und Durchmesser die noch möglichen zu fördernden Wärmemengen an. Ist $t' - t'' < 20$ oder > 30, so lassen sich die Tabellen dennoch benutzen, da man nur nöthig hat, bei z. B. 15° die aufzuführenden Werthe von W zunächst mit 2 zu multipliciren und alsdann die Tabelle für $t' - t'' = 30$ zu verwenden.

Die Gleichung für die erreichbare Geschwindigkeit lautete allgemein (s. Gl. 133):

$$ah = \frac{v^2}{2g}\left(\frac{\varrho}{d}l + \Sigma\zeta\right).$$

Dieselbe lässt sich schreiben:

$$ah = \frac{v^2}{2g}\frac{\varrho}{d}l + \frac{v^2}{2g}\Sigma\zeta.$$

Auf der linken Seite der Tabelle stehen die Werthe von $\frac{v^2}{2g}\Sigma\zeta$ für die in der Praxis vorkommenden Werthe von v und für ζ von 0,5 bis 5. Ist ζ grösser als 5, z. B. 7, so kann der Werth von $\frac{v^2}{2g}\Sigma\zeta$ durch Addition der Werthe von $\frac{v^2}{2g}\Sigma\zeta$ für $\zeta = 2$ und $\zeta = 5$ bestimmt werden.

Die rechten Seiten der Tabelle enthalten unter den mit III be-

Digitized by Google

zeichneten Zahlen für die verschiedenen Wassergeschwindigkeiten die Werthe von $\frac{v^2}{2g}\frac{\varrho}{d}$, d. h. also für $l=1$; für $l=n$ sind mithin die betreffenden Zahlen noch mit n zu multipliciren. Zur Bestimmung der wirksamen Druckhöhe, die zur Erreichung einer bestimmten Geschwindigkeit zur Verfügung stehen muss, ist also eine Multiplikation und in der Regel nur eine Addition erforderlich. — Dieser Theil der Tabelle gilt allgemein, also auch für Mitteldruck.

Die Nachrechnung der angenommenen Rohrweiten, also die genaue Feststellung derselben für die Ausführung, gestaltet sich nun wie folgt. Zunächst sind die Längen und einmaligen Widerstände der einzelnen Theilstrecken nach Massgabe des Entwurfs festzustellen und der Werth von a entsprechend der Temperatur von t' und t'' der Tabelle 14, II zu entnehmen bezw. nach den bei Fall 2 und 3 zunächst zu ermittelnden Temperaturen zu berechnen. Alsdann sind für jede Theilstrecke der Hauptleitungen mit Hilfe der Tabellen die Geschwindigkeits- und Widerstandshöhen $\left\{\frac{v^2}{2g}\left(\frac{\varrho}{d}l+\Sigma\zeta\right)\right\}$ in der angegebenen Weise zu bestimmen. Hieran schliesst sich die Durchrechnung des Stromkreises eines jeden Heizkörpers, wobei mit demjenigen des untersten Heizkörpers des letzten Fallstrangs einer jeden Hauptleitung zu beginnen ist. Die Durchrechnung hat in der Weise zu erfolgen, dass für jede noch nicht erledigte Theilstrecke des Stromkreises die Geschwindigkeits- und Widerstandshöhe mit Hilfe der Tabelle 14, II zu bestimmen, alsdann die Summe der Geschwindigkeits- und Widerstandshöhen sämmtlicher Theilstrecken des Stromkreises zu bilden und zu untersuchen ist, ob sich dieselbe grösser oder kleiner als die wirksame Druckhöhe ah gestaltet, die durch Multiplikation von a mit dem senkrechten Abstande von der Mitte des zum Stromkreise gehörigen Heizkörpers bis Mitte Kessel gewonnen wird. Ist ah grösser, so kann ein Rohrdurchmesser entsprechend kleiner, ist ah kleiner, so muss ein Rohrdurchmesser grösser gemacht werden. Es hat also dann eine Aenderung des Rohrdurchmessers einer Theilstrecke einzutreten — welcher Theilstrecke ist nahezu gleichgültig. Am einfachsten ist es, die Rohrdurchmesser der Fallstränge zu ändern, es kann die Aenderung aber auch in der Hauptleitung oder in den Heizkörper-Anschlüssen erfolgen, wie es dem Praktiker am dienlichsten erscheint. Die Hauptleitung empfiehlt sich nur dann zu ändern, wenn verhältnissmässig kleine Heizkörper vorhanden sind bezw. zu enge Anschlüsse und Fallstränge sich ergeben sollten. ah darf niemals kleiner, kann aber etwas grösser als die Summe der Geschwindigkeits- und Widerstandshöhe sein, und da man immer nur mit Handelsmafsen zu rechnen hat, so wird fast stets ah etwas grösser belassen werden müssen. Es ist dies ein Sicherheitszuschlag, der bis etwa $10\,\%$ zweckmässig ist, da ja kleine Rohrverengungen u. s. f. vorhanden sein

Digitized by Google

können, von denen man keine Kenntniss besitzt. Man wird also vor zu kleinen, aber gleichzeitig vor unnöthig grossen Querschnitten bewahrt, die mitunter ebenso schädlich für den Gang der Anlage sein können, als zu kleine Querschnitte.

Ist der Stromkreis des untersten Heizkörpers vom letzten Fallstrange erledigt, so ist zum Stromkreise des höher liegenden Heizkörpers überzugehen und die Theilstrecken in derselben Weise zu behandeln. Natürlich sind die dem ersten und zweiten Stromkreise gemeinsam zukommenden Theilstrecken, wie bereits angenommen, beizubehalten, so dass für die weiteren Stromkreise immer weniger Theilstrecken zur Bestimmung übrig bleiben.

Durch die genau so leichte Berechnung des verzweigtesten und scheinbar schwierigsten als des einfachsten Rohrnetzes wird der Praktiker in die Lage versetzt, die Rohrleitung nur nach dem Gesichtspunkte kürzester Theilstrecken oder bequemster Ausführung anzuordnen.

Von den gesammten Tabellen sind die letzten zur Bestimmung der Widerstandshöhen u. s. w. die werthvollsten von allen, da sie die Rechnung auf ein ganz geringes Mafs herabdrücken, demnächst, da sie endgültige Annahmen zulassen, diejenigen für die Bestimmung der Hauptleitung. Die Tabellen für Bestimmung der Heizkörper-Anschlüsse und Fallstränge könnten am ehesten entbehrt werden, da der Praktiker zunächst auch nach Gutdünken die Rohrweiten derselben, die doch für die Ausführung der Nachrechnung unterliegen sollen, annehmen könnte. Diese Tabellen sollen also nur vor einer von der Wahrheit zu weit abweichenden Annahme sichern und die Berechnung erleichtern.

Es ist nicht angängig, auf alle Möglichkeiten hinzuweisen, die dem Praktiker in der Anwendung der Tabellen, auch in der theilweisen Abweichung von denselben, offen stehen, doch wird derselbe durch den Gebrauch derselben unmittelbar auf diese hingeführt und möge somit der Praktiker die „Tabellen zur Annahme der Rohrweiten“ niemals als einen Ersatz der genauen Berechnung für die Ausführung, sondern nur als einen solchen für den Anschlag und als einen wesentlich Zeit und Arbeit sparenden Anhalt für die Berechnung ansehen.

Zur praktischen Darlegung alles bisher Gesagten ist auf die folgenden Beispiele zu verweisen.

Am besten ist es für die ganze Rechnung wie bei einer Transmissionsberechnung die Schemaform zu wählen, so dass auch später, oder wenn während der Ausführung Aenderungen erfolgen sollen, eine schnelle Nachrechnung ermöglicht wird.

In dem Schema mögen folgende Abkürzungen Platz greifen.

Spalte 3. Wärmemenge: W,

Digitized by Google

Spalte 4. Entfernung von Mitte Heizkörper bis Mitte Kessel: h, Wirksame Druckhöhe des Heizkörpers: ah,
„ 5. Angenommene Rohrweite: d_a,
„ 6. Länge der Theilstrecke: l,
„ 7. Summe der einzelnen Widerstände der Theilstrecke: $\Sigma\zeta$,
„ 10. Geänderte d. h. gerechnete Rohrweite: d_g.

C) Beispiele zur Bestimmung der Rohrdurchmesser einer Warmwasserheizung für den Anschlag und für die Ausführung.

Beispiel 1. Aufgabe. Die Temperatur t' soll 85°, $t''=65°$, also $t'-t''=20°$ betragen. Die Anordnung der Heizkörper geht aus Fig. 50 hervor, alles übrige aus der nachfolgenden Zusammenstellung.

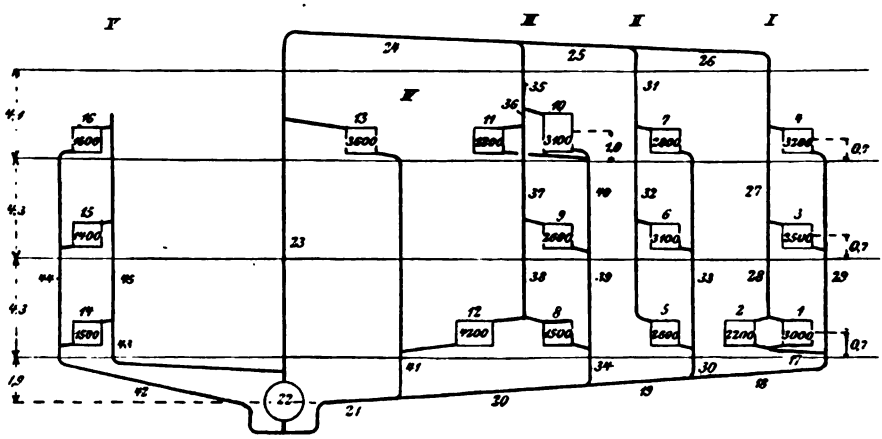


Fig. 50.

Lösung der Aufgabe.

Annahme der Rohrweiten*)					Berechnung der Rohrweiten						
					Für d_a				Für d_g		
Rohrleitung	Theilstrecke	W	h und ah	d_a	l	$\Sigma\zeta$	$\frac{v^2}{2g}\frac{\varrho}{d}l$ und $\frac{v^2}{2g}\Sigma\zeta$	$\frac{v^2}{2g}\times\left(\frac{\varrho}{d}l+\Sigma\zeta\right)$	d_g	$\frac{v^2}{2g}\frac{\varrho}{d}l$ und $\frac{v^2}{2g}\Sigma\zeta$	$\frac{v^2}{2g}\left(\frac{\varrho}{d}l+\Sigma\zeta\right)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Hauptleitung rechts	18	10900	—	0,049	6,0	1,5	0,00210 0,00055	0,00265	—	—	—
	19	19400	—	0,064	4,5	0	0,00122 0,0	0,00122	—	—	—
	20	29400	—	0,076	8,8	0,5	0,00224 0,00023	0,00247	—	—	—

*) S. Seite 233.

Digitized by Google

Annahme der Rohrweiten					Berechnung der Rohrweiten						
					Für d_a				Für d_g		
Rohrleitung	Theilstrecke	W	h und ah	d_a	l	$\Sigma\zeta$	$\frac{v^2}{2g}\frac{\varrho}{d}l$ und $\frac{v^2}{2g}\Sigma\zeta$	$\frac{v^2}{2g}\times\left(\frac{\varrho}{d}l+\Sigma\zeta\right)$	d_g	$\frac{v^2}{2g}\frac{\varrho}{d}l$ und $\frac{v^2}{2g}\Sigma\zeta$	$\frac{v^2}{2g}\left(\frac{\varrho}{d}l+\Sigma\zeta\right)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Hauptleitung rechts	21	37200	—	0,082	6,4	2,0	0,00179 0,00102	0,00281	—	—	—
	22	41700	—	0,082	2,1	4,5	0,00074 0,00303	0,00377	—	—	—
	23	37200	—	0,082	10,2	0	0,00286 0,0	0,00286	—	—	—
	24	33600	—	0,076	19,5	1,5	0,00624 0,00084	0,00708	—	—	—
	25	19400	—	0,064	5,0	1,0	0,00135 0,00037	0,00172	—	—	—
	26	10900	—	0,049	8,5	1,5	0,00298 0,00055	0,00353	—	—	—
links	42	4500	—	0,039	12,0	2,5	0,00264 0,00039	0,00303	—	—	—
	43	4500	—	0,039	10,5	2,0	0,00231 0,00031	0,00262	—	—	—
Fallstrang I.	1	3000	2,6 0,03198	0,034	3	5	0,00063 0,00064	0,00127	0,039	0,00039 0,00041	0,00080
	2	2200	2,6 0,03198	0,025	2	4	0,00088 0,00086	0,00174	0,034	0,00024 0,00025	0,00049
	3	2500	6,9 0,08487	0,014	4	4,5	0,02728 0,01267	0,08995	—	—	—
	4	3200	11,2 0,13776	0,014	7,5	5,5	0,07793 0,02523	0,10316	0,020	0,01575 0,00590	0,02165
	17	5200	—	0,043	1	1,5	0,00020 0,00023	0,00043	—	—	—
	27	7700	—	0,043	4,3	0	0,00142 0,0	0,00142	—	—	—
	28	5200	—	0,043	4,5	0,5	0,00090 0,00008	1,00098	—	—	—
	29	5700	—	0,020	4,3	0	0,02442 0,0	0,02442	0,025	0,00899 0,0	0,00899
Fallstrang II.	5	2600	2,6 0,03198	0,025	7,5	5,5	0,00420 0,00158	0,00578	0,034	0,00113 0,00045	0,00158
	6	3100	6,9 0,08487	0,020	2	4	0,00398 0,00400	0,00798	0,014	0,01958 0,01714	0,03672
	7	2800	11,2 0,13776	0,014	6,5	4,5	0,05278 0,01550	0,06828	—	—	—
	30	8500	—	0,039	5,5	1,5	0,00319 0,00077	0,00396	0,043	0,00220 0,00055	0,00275
	31	8500	—	0,039	7,5	1,5	0,00435 0,00077	0,00512	0,043	0,00300 0,00055	0,00355

Digitized by Google

Annahme der Rohrweiten					Berechnung der Rohrweiten						
					Für d_a				Für d_g		
Rohrleitung	Theilstrecke	W	h und ah	d_a	l	$\Sigma\zeta$	$\frac{v^2}{2g}\frac{\varrho}{d}l$ und $\frac{v^2}{2g}\Sigma\zeta$	$\frac{v^2}{2g}\times\left(\frac{\varrho}{d}l+\Sigma\zeta\right)$	d_g	$\frac{v^2}{2g}\frac{\varrho}{d}l$ und $\frac{v^2}{2g}\Sigma\zeta$	$\frac{v^2}{2g}\left(\frac{\varrho}{d}l+\Sigma\zeta\right)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fallstrang II.	32	5700	—	0,034	4,3	0	0,00241 0,0	0,00241	0,039	0,00138 0,0	0,00138
	33	5900	—	0,025	4,3	0	0,00946 0,0	0,00946	—	—	—
Fallstrang III.	8	1500	2,6 0,03198	0,020	3,5	5	0,00221 0,00125	0,00346	0,025	0,00084 0,00052	0,00136
	9	2600	6,9 0,08487	0,014	3	4,5	0,02121 0,01321	0,03442	—	—	—
	10	3100	11,5 0,14145	0,014	3	4,5	0,02937 0,01929	0,04866	—	—	—
	11	2800	11,2 0,13776	0,014	5	4,5	0,04060 0,01550	0,05610	—	—	—
	12	4200	2,6 0,03198	0,034	10,5	5,5	0,00389 0,00138	0,00527	—	—	—
	34	10000	—	0,034	4,5	1,5	0,00657 0,00196	0,00853	0,043	0,00239 0,00077	0,00416
	35	14200	—	0,043	6,5	1,5	0,00598 0,00150	0,00748	0,049	0,00351 0,00093	0,00444
	36	11100	—	0,043	0,8	0	0,00050 0,0	0,00050	0,049	0,00028 0,0	0,00028
	37	8300	—	0,043	4,3	0	0,00172 0,0	0,00172	—	—	—
	38	5700	—	0,039	4,3	0	0,00138 0,0	0,00138	0,043	0,00099 0,0	0,00099
	39	8500	—	0,025	4,3	0	0,01823 0,0	0,01823	—	—	—
	40	5900	—	0,020	4,3	0	0,02606 0,0	0,02606	—	—	—
	41	7800	—	0,043	5	1,5	0,00180 0,00049	0,00229	—	—	—
Fallstrang IV.	13	3600	11,2 0,13776	0,025	14,5	6	0,01421 0,00338	0,01759	0,020	0,03799 0,00832	0,04631
Fallstrang V.	14	1500	2,6 0,03198	0,020	3	5	0,00189 0,00125	0,00314	0,014	0,00849 0,00500	0,01349
	15	1400	6,9 0,08487	0,011	3	5	0,02151 0,01124	0,03275	—	—	—
	16	1600	11,2 0,13776	0,011	11,5	6	0,10339 0,01762	0,12101	0,014	0,03657 0,00688	0,04345
	44	3000	—	0,014	4,3	0	0,03965 0,0	0,03965	0,020	0,00856 0,0	0,00856
	45	3000	—	0,014	4,3	0	0,03965 0,0	0,03965	0,020	0,00856 0,0	0,00856

Digitized by Google

Bemerkungen zu Beispiel 1.

a) Annahme der Rohrweiten. Hauptleitung. 2 Hauptleitungen vorhanden, je eine rechts und links vom Kessel gelegen. Die Entfernung des höchstgelegenen Heizkörpers der Anlage vom Kessel beträgt weniger als 12 m. Hauptleitung rechts wie links ist in horizontaler Ausdehnung $E < 25$ m, somit ist Tabelle 14, I, A Seite 36 in Anwendung zu bringen. Für beide Hauptleitungen beträgt der Abstand von Mitte Kessel bis Mitte des ungünstigen (aber über dem Kessel befindlichen) Heizkörpers 2,6 m, somit ist, da in der Tabelle dieses Mafs nicht enthalten ist, die Horizontalspalte für 2,5 m zu benutzen. Würde bei der linken Hauptleitung der unterste Heizkörper fehlen, also für diese der ungünstigste Heizkörper im Abstande von 6,9 m liegen, so würde für diese Hauptleitung dann in der Tabelle die Horizontalspalte 7 massgebend sein. Die den beiden Hauptleitungen gemeinsamen Theilstrecken werden durch die längere (rechts gelegene) bestimmt.

Heizkörper-Anschlüsse und Fallstränge. Zunächst sind die Anschlüsse der zu jedem Fallstrange gehörenden Heizkörper zu bestimmen. Die Wahl der Tabelle hängt von der Entfernung der Mitte des ungünstigsten Heizkörpers von Mitte Kessel ab. Im vorliegenden Falle beträgt diese Entfernung 2,6 m, somit ist Tabelle 14, I, B Seite 72 zu verwenden. Aus dieser Tabelle sind je nach der Höhenlage der verschiedenen Heizkörper und der denselben zukommenden Wärmemengen die Querschnitte der Anschlüsse zu entnehmen und durch Addition der für eine Theilstrecke zusammengehörigen, der Querschnitt und aus diesem der Durchmesser dieser Theilstrecke zu bestimmen, z. B. kommt der Theilstrecke 28 die Wasserführung des Heizkörpers 1 und 2 zu, also addiren sich die betreffenden Querschnitte 908 und 431 qmm zu 1339 qmm und ist für Theilstrecke 28 somit das nächst höhere Handelsmafs, d. h. 0,043 m Durchmesser zu wählen.

Die vorläufige für den Anschlag vollkommen ausreichende Dimensionirung einer Warmwasserheizung ist somit ohne nennenswerthen Zeitverlust zu ermöglichen.

b) Berechnung der Rohrweiten. Für die Ausführung ist eine Nachrechnung der gewählten Rohrdurchmesser anzustellen. Haben die Fallstränge einen verhältnissmässig engen, die Hauptleitung einen weiten Durchmesser erhalten, so kann — natürlich auch bereits für den Anschlag — die Hauptleitung etwas geringere Mafse erhalten, was sich der Kosten halber empfehlen wird. Sind die Fallstränge für die bequeme Ausführung zu weit geworden, so muss zur Verringerung der Durchmesser die Hauptleitung weiter dimensionirt werden. Im vorliegenden Beispiele soll die Hauptleitung der Tabelle entsprechend, aus der stets, wenn die Wärme-Einheiten dem Rohrdurchmesser nicht entsprachen, der nächst grössere Durchmesser gewählt worden ist, beibehalten werden.

Für die Rohrannahme sind nur die Spalten 1—5 der Aufstellung auszufüllen, für die Berechnung zunächst die Spalten 6 und 7 nach Massgabe des Entwurfs, alsdann für die Hauptleitung die Spalten 8 und 9 nach Bestimmung der betreffenden Werthe mit Hilfe der letzten Tabellen. Für die Fallstränge findet die Ausfüllung der Spalten 8 und 9 nach Massgabe des Fortschreitens der Berechnung der einzelnen Stromkreise statt. Die Berechnung beginnt mit dem Stromkreise des ungünstigst gelegenen Heizkörpers der Anlage, im vorliegenden Falle also mit dem Stromkreise des Heizkörpers 1.

Stromkreis des Heizkörpers 1. Theilstrecken 1, 17, 18—28. Für Theilstrecke 1, 27 und 28 sind mit Hilfe der Tabelle 14, III (Bestimmung der Geschwindigkeits- und Widerstandshöhen) die Werthe der Spalte 8 und 9 zu berechnen und einzutragen und die in Spalte 9 nunmehr erhaltenen Ergebnisse aller Theilstrecken dieses Stromkreises zu addiren. Die Summe muss möglichst dem Produkte ah_1 in Spalte 4 nahe kommen, keinesfalls darf sie grösser sein. Ist sie grösser, so ist der Durchmesser einer der Theilstrecken (welcher, ist gleichgültig, bei Beibehaltung der Durchmesser der Hauptleitung kommen nur Theilstrecke 1, 17, 27 oder 28 in Frage) zu vergrössern, ist sie kleiner, so ist ein Durchmesser zu

Digitized by Google

verkleinern. Das endgültige Ergebniss einer Aenderung wird in die Spalten 10, 11 und 12 eingetragen, da es für die weitere Berechnung massgebend bleibt, sobald die betreffende Theilstrecke auch anderen Stromkreisen angehört.

Für	Theilstrecke	1	ist	$\frac{v^2}{2g}\left(\frac{\varrho}{d} l + \Sigma\zeta\right)$	da	$d_1 = 0{,}034$ m:	0,00127,
„	„	17	„	„	„	$d_{17} = 0{,}043$ m:	0,00043,
„	„	27	„	„	„	$d_{27} = 0{,}043$ m:	0,00142,
„	„	28	„	„	„	$d_{28} = 0{,}043$ m:	0,00098,
„	die Hauptleitung		„	$\Sigma\left(\frac{v^2}{2g}\left(\frac{\varrho}{d} l + \Sigma\zeta\right)\right)$		gemäss der Aufstellung:	0,02811,
							Sa. 0,03221.

Da $ah_1 = 0{,}0123 \cdot 2{,}6 = 0{,}03198$ also $< 0{,}03221$ ist, so muss ein Durchmesser vergrössert werden. Da die Hauptleitung beibehalten werden soll, so kommen die Durchmesser der Theilstrecken 1, 17, 27 und 28 in Frage. Es möge d_1 von 0,034 auf 0,039 m erhöht werden, alsdann wird die Summe der Widerstandshöhen 0,03174 also $< 0{,}03198$.

Stromkreis des Heizkörpers 2. Theilstrecken 2, 17, 18—28. Da sämmtliche Theilstrecken bis auf Theilstrecke 2 bereits bestimmt sind, so kann für eine eventuelle Aenderung der Rohrdurchmesser auch nur diese in Frage kommen. Die Berechnungsweise genau wie bei Stromkreis des Heizkörpers 1. Die Summe der Widerstandshöhen aller Theilstrecken ist $\Sigma\left\{\frac{v^2}{2g}\left(\frac{\varrho}{d} l + \Sigma\zeta\right)\right\} = 0{,}03268$, die wirksame Druckhöhe $ah_2 = 0{,}03198$ m, folglich ist auch d_2 um ein Handelsmafs, also auf 0,034 m zu erhöhen.

Stromkreis des Heizkörpers 3. Theilstrecken 3, 29, 18—27. Fest gelegt sind die Theilstrecken 18—27, für eine eventuelle Aenderung kommen somit nur die Theilstrecken 3 und 29 in Frage. Die Summe der Widerstandshöhen für diesen Stromkreis nach den angenommenen Durchmessern ist 0,09390, die wirksame Druckhöhe $ah_3 = 0{,}08487$. Es muss also die Vergrösserung eines Durchmessers der beiden in Frage kommenden Theilstrecken eintreten. Es soll Theilstrecke 29 um ein Handelsmafs, d. h. auf 0,025 m vergrössert werden, alsdann ergiebt sich 0,08487 $> 0{,}07847$.

Stromkreise der folgenden Heizkörper. Die Behandlung genau wie bisher. Da wo Aenderungen in den Rohrweiten vorgenommen werden konnten oder mussten, ergeben sich dieselben aus der tabellarischen Zusammenstellung. Es geht aus derselben hervor, dass von den 45 Theilstrecken der Anlage 19 eine Aenderung erfahren haben, und zwar sind 15 um einen Durchmesser, eine um zwei Durchmesser erhöht, 3 um einen Durchmesser verringert worden. Würde man in der Hauptleitung die Theilstrecke 26 erhöht haben, so hätte man Theilstrecken 1 und 2 wie angenommen belassen können. Das Beispiel ist absichtlich so gewählt worden, dass mehrfache Aenderungen gegen die Annahmen erforderlich waren, um die Wichtigkeit der genauen Durchrechnung für die Ausführung zu zeigen. Es wäre nicht schwer gewesen, das Beispiel derartig anzunehmen, dass keine Aenderung der Rohrdurchmesser erforderlich gewesen wäre, es hätte aber dann den Anschein erwecken können, dass die Tabellen für die Annahme der Rohrdurchmesser auch für die Ausführung stets ausreichend seien.

Beispiel 2. Aufgabe. Genau dieselbe Aufgabe wie in Beispiel 1, nur soll $t' = 90^0$, $t'' = 60^0$, also die Temperaturdifferenz $t' - t''$ nicht 20^0, sondern 30^0 betragen.

Lösung der Aufgabe. Eine genaue Behandlung dieses Beispiels ist nicht erforderlich, da dieselbe genau wie bei Beispiel 1 stattzufinden hat. Bei der Durchrechnung ergiebt sich, dass gegenüber den Annahmetabellen nur der Durchmesser

Digitized by Google

einer Theilstrecke vergrössert zu werden braucht, dagegen 2 Theilstrecken um 3, 3 Theilstrecken um 2 Handelsmafse und 7 Theilstrecken um ein Handelsmafs verringert werden müssen. Um einen Vergleich der Rohrdurchmesser zu gestatten, mögen dieselben, wie sie sich für $t' - t'' = 20°$ und $t' - t'' = 30°$ für die Ausführung ergeben, eine Zusammenstellung finden.

Theilstrecke	Beispiel 1: $t' - t'' = 20°$	Beispiel 2: $t' - t'' = 30°$	Theilstrecke	Beispiel 1: $t' - t'' = 20°$	Beispiel 2: $t' - t'' = 30°$
1	$d = 0{,}039$ m	$d = 0{,}025$ m	24	$d = 0{,}076$ m	$d = 0{,}057$ m
2	0,034 „	0,020 „	25	0,064 „	0,049 „
3	0,014 „	0,011 „	26	0,049 „	0,039 „
4	0,020 „	0,011 „	27	0,043 „	0,039 „
5	0,034 „	0,025 „	28	0,043 „	0,034 „
6	0,014 „	0,011 „	29	0,025 „	0,020 „
7	0,014 „	0,011 „	30	0,043 „	0,034 „
8	0,025 „	0,020 „	31	0,043 „	0,034 „
9	0,014 „	0,011 „	32	0,039 „	0,034 „
10	0,014 „	0,011 „	33	0,025 „	0,020 „
11	0,014 „	0,011 „	34	0,043 „	0,034 „
12	0,034 „	0,034 „	35	0,049 „	0,043 „
13	0,020 „	0,011 „	36	0,049 „	0,043 „
14	0,014 „	0,011 „	37	0,043 „	0,043 „
15	0,011 „	0,011 „	38	0,043 „	0,043 „
16	0,011 „	0,011 „	39	0,025 „	0,020 „
17	0,043 „	0,043 „	40	0,020 „	0,014 „
18	0,049 „	0,039 „	41	0,043 „	0,039 „
19	0,064 „	0,049 „	42	0,039 „	0,025 „
20	0,076 „	0,057 „	43	0,039 „	0,025 „
21	0,082 „	0,064 „	44	0,014 „	0,011 „
22	0,082 „	0,064 „	45	0,014 „	0,014 „
23	0,082 „	0,064 „			

Beispiel 3. Aufgabe. Das Beispiel ist in Wärme-Abgabe der Heizkörper wie Beispiel 1, nur haben die früher behandelten Sonderfälle der Anordnung und Lage der Heizkörper Aufnahme gefunden. Alles dieses geht aus Fig. 51 hervor. Es ist wieder $t' = 85°$, $t'' = 65°$, $t' - t'' = 20°$.

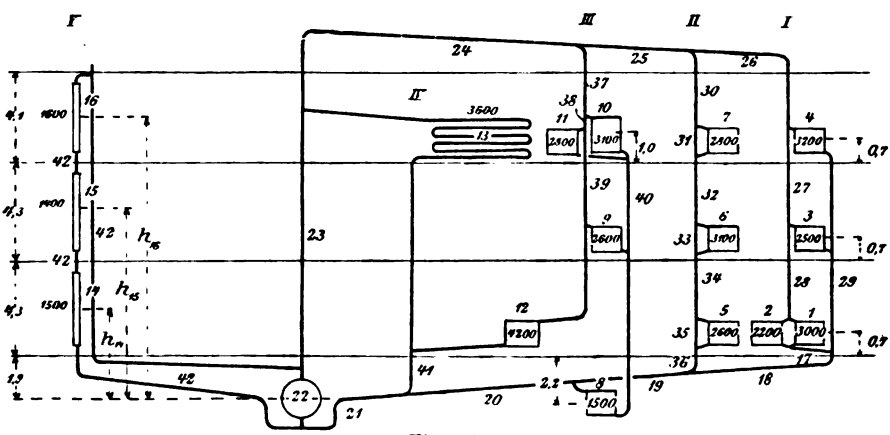


Fig. 51.

Digitized by Google

Lösung der Aufgabe.

Annahme der Rohrweiten					Berechnung der Rohrweiten						
					Für d_a				Für d_g		
Rohrleitung	Theilstrecke	W	h und ah	d_a	l	$\Sigma\zeta$	$\frac{v^2}{2g}\frac{\varrho}{d}l$ und $\frac{v^2}{2g}\Sigma\zeta$	$\frac{v^2}{2g}\varkappa\left(\frac{\varrho}{d}l+\Sigma\zeta\right)$	d_g	$\frac{v^2}{2g}\frac{\varrho}{d}l$ und $\frac{v^2}{2g}\Sigma\zeta$	$\frac{v^2}{2g}\left(\frac{\varrho}{d}l+\Sigma\right)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Hauptleitung rechts	18	10900	—	0,049	6,0	1,5	0,00210 0,00055	0,00265	—	—	—
	19	19400	—	0,064	5,5	0	0,00149 0,0	0,00149	—	—	—
	20	29400	—	0,076	7,3	0,5	0,00197 0,00023	0,00220	—	—	—
	21	37200	—	0,082	6,4	2,0	0,00179 0,00102	0,00281	—	—	—
	22	41700	—	0,082	2,1	4,5	0,00074 0,00303	0,00377	—	—	—
	23	37200	—	0,082	10,2	0	0,00286 0,0	0,00286	—	—	—
	24	33600	—	0,076	19,5	1,5	0,00624 0,00084	0,00708	—	—	—
	25	19400	—	0,064	5,0	1,0	0,00135 0,00037	0,00172	—	—	—
	26	10900	—	0,049	8,5	1,5	0,00298 0,00055	0,00353	—	—	—
links	42	4500	$h=8{,}23$ (s. weiter unten)	0,025	32,5	5,5	0,04843 0,00511	0,05354	—	—	—
Fallstränge und Anschlüsse:											
Fallstrang I.	1	3000	2,6 0,03198	0,034	3	5	0,00063 0,00064	0,00127	0,039	0,00039 0,00041	0,00080
	2	2200	2,6 0,03198	0,025	2	4	0,00088 0,00086	0,00174	0,034	0,00024 0,00025	0,00049
	3	2500	6,9 0,08487	0,014	4	4,5	0,02728 0,01267	0,03995	—	—	—
	4	3200	11,2 0,13776	0,014	7,5	5,5	0,07793 0,02523	0,10316	0,020	0,01575 0,00590	0,02165
	17	5200	—	0,043	1	1,5	0,00020 0,00023	0,00043	—	—	—
	27	7700	—	0,043	4,3	0	0,00142 0,0	0,00142	—	—	—
	28	5200	—	0,043	4,5	0,5	0,00090 0,00008	0,00098	—	—	—
	29	5700	—	0,020	4,3	0	0,02442 0,0	0,02442	0,025	0,00899 0,0	0,00899

Digitized by Google

Annahme der Rohrweiten					Berechnung der Rohrweiten						
					Für d_a				Für d_g		
Rohrleitung	Theilstrecke	W	h und ah	d_a	l	$\Sigma\zeta$	$\frac{v^2}{2g}\frac{\varrho}{d}l$ und $\frac{v^2}{2g}\Sigma\zeta$	$\frac{v^2}{2g}\times\left(\frac{\varrho}{d}l+\Sigma\zeta\right)$	d_g	$\frac{v^2}{2g}\frac{\varrho}{d}l$ und $\frac{v^2}{2g}\Sigma\zeta$	$\frac{v^2}{2g}\left(\frac{\varrho}{d}l+\Sigma\zeta\right)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fallstrang II.	5	2600	2,6	0,025	2	4	Besondere Berechnung siehe Bemerkungen zu Beispiel 3.				
	6	3100	6,9	0,020	2	4					
	7	2800	11,2	0,014	2	4					
	30	8500	—	0,039	7,5	1,5					
	31	5700	—	0,039	1,2	0					
	32	5700	—	0,039	3,1	0					
	33	2600	—	0,039	1,2	0					
	34	2600	—	0,039	3,1	0					
	35	5900	—	0,025	1,2	0					
	36	8500	—	0,039	5,5	1,5					
Fallstrang III.	8	1500	0,3	0,025	9,5	5	0,05358 0,02218	0,07576	0,034	0,01387 0,00653	0,02040
	9	2600	6,9	0,014	3	4,5	0,02847 0,01863	0,04710	0,020	0,00597 0,00450	0,01047
	10	3100	11,5	0,014	3	4,5	0,03966 0,02730	0,06696	—	—	—
	11	2800	11,2	0,014	5	4,5	0,05335 0,02133	0,07468	0,020	0,01115 0,00516	0,01631
	12	4200	2,6	0,034	10,5	5,5	0,00389 0,00138	0,00527	0,039	0,00200 0,00070	0,00270
	37	14200	—	0,043	6,5	1,5	0,00598 0,00150	0,00748	—	—	—
	38	11100	—	0,039	0,8	0	0,00077 0,0	0,00077	—	—	—
	39	8300	—	0,039	4,3	0	0,00249 0,0	0,00249	—	—	—
	40	5900	—	0,020	4,3	0	0,03492 0,0	0,03492	0,034	0,00335 0,0	0,00335
	41	7800	—	0,039	5	1,5	0,00265 0,00069	0,00334	0,043	0,00180 0,00049	0,00229
Fallstrang IV.	13	Spirale 3600	11,2	0,049	31	5	0,00186 0,00023	0,00209	—	—	—
		Anschluss 3600	—	0,014	15	5	0,18900 0,02860	0,21760	0,020	0,03930 0,00694	0,04624
Fallstrang V.	14	1500	h=8,23 (s. weiter unten)	0,241	3,9	1	Ist mit Theilstrecke 42 zusammen zu behandeln; siehe Bemerkungen zu Beispiel 3.				
	15	1400		0,241	3,2	1					
	16	1600		0,241	3,3	1					

Digitized by Google

Bemerkungen zu Beispiel 3.

a) Annahme der Rohrweiten. Die Annahme der Rohrweiten erfolgt für die rechte Seite der Anlage, da für diese die gleichen Verhältnisse wie bei Beispiel 1 beibehalten worden sind, d. h. die Mitte des ungünstigsten Heizkörpers auf der rechten Seite der Anlage liegt 2,6 m über Mitte Kessel, die Entfernung des letzten Fallstrangs vom Kessel $E < 25$ m, somit ist für die Annahme der Grundleitung Tabelle 14, I, A Seite 36 für 2,5 m, für die Heizkörper-Anschlüsse Tabelle 14, I, B Seite 72 in Anwendung zu bringen.

Auf der linken Seite der Anlage sind statt der früheren Heizkörper Standröhren angenommen worden, es ist also nur ein Strang mit drei eingebauten Heizkörpern vorhanden. Für die Annahme der Rohrweite der Hauptleitung ist somit nicht der unterste Heizkörper massgebend, sondern es ist, da die Geschwindigkeit des Wassers von allen 3 Standröhren abhängt, für die Annahmetabellen als Abstand von Mitte Kessel eine mittlere Höhe der Standröhren in Berücksichtigung zu ziehen. Zu dieser mittleren Höhe ist aber die Kenntniss der Höhen der Standröhren erforderlich; diese hängen vom Durchmesser der Standröhren und von den Temperaturen des Wassers ab. Da die Grösse der Standröhren, wie diejenige aller Heizkörper auch für den Kostenanschlag von Wichtigkeit sind, so ist daher zuvörderst die Bestimmung der Temperatur des Wassers in allen Heizkörpern, die als Zuwasser das Abwasser anderer Heizkörper erhalten, vorzunehmen. Es möge also auch diese zunächst Behandlung finden.

α) Temperaturbestimmung für die Heizkörper des Stranges II. Nach den Gleichungen 149—151 ist:

$$t_{30} = t' - \frac{W(t'-t'')}{\Sigma W} = 85 - \frac{2800 \cdot 20}{8500} = 78{,}4^0,$$

$$t_{31} = t' - \frac{(W_6 + W_7)(t'-t'')}{\Sigma W} = 85 - \frac{5900 \cdot 20}{8500} = 71{,}1^0,$$

ferner nach den Gleichungen 152—155:

$$t_5 = 71{,}1 - 20 = 51{,}1,$$
$$t_6 = 78{,}4 - 20 = 58{,}4,$$
$$t_7 = 65^0.$$

Ausserdem ist $t_{31} = t' = 85^0$, $t_{33} = t_{32} = 78{,}4^0$, $t_{35} = t_{34} = 71{,}1^0$.

β) Temperaturbestimmung für die Heizkörper des Stranges III. Im Strange III liegt ein Heizkörper tiefer als der Kessel. Gemäss der Gl. 143 S. 224 muss die Temperatur ϑ mit der das Wasser die Heizkörper 9, 10 und 11 zu verlassen und mit der es im Heizkörper 8 einzutreten hat:

$$\vartheta = \frac{W_8 t' + (W_9 + W_{10} + W_{11}) t''}{W_8 + W_9 + W_{10} + W_{11}} = \frac{1500 \cdot 85 + 8500 \cdot 65}{10000} = 68^0$$

betragen. Es sind also die Heizkörper 9, 10 und 11 für die Wassertemperaturen 85^0 und 68^0, der Heizkörper 8 für 68^0 und 65^0 zu berechnen.

γ) Temperaturbestimmung für die Standröhren des Stranges V. Nach den Gleichungen 161 und 162 ist:

$$t_{43} = t' - \frac{(W_{16}(t'-t'')}{\Sigma W} = 85^0 - \frac{1600 \cdot 20}{4500} = 77{,}8^0,$$

$$t_{44} = t' - \frac{(W_{15} + W_{16})(t'-t'')}{\Sigma W} = 85^0 - \frac{3000 \cdot 20}{4500} = 71{,}7^0.$$

Nachdem die Temperaturen auch für Strang V bestimmt worden sind, ist zur Annahme des Rohrdurchmessers für die linke Seite der Anlage der Abstand zu er-

Digitized by Google

mitteln bis Mitte Kessel, der nach den gemachten Auseinandersetzungen für die Wahl der Tabelle in Frage zu kommen hat. Nimmt man den äusseren Durchmesser der Standröhren zu 0,254 m und ist die Raumtemperatur 15°, so ist die Wärme-Abgabe (k) eines Quadratmeters bei einem Grade Temperaturdifferenz zwischen Wasser und zuströmender Luft nach Tabelle 13 zu setzen für:

$$\text{Standrohr } 14 \left(\text{Temperaturdifferenz } \frac{71{,}7+65}{2} - 15 \sim 50^0\right) = 8{,}5,$$

$$\text{„ } 15 \left(\text{ „ } \frac{71{,}7+77{,}8}{2} - 15 \sim 60^0\right) = 8{,}5,$$

$$\text{„ } 16 \left(\text{ „ } \frac{77{,}8+85}{2} - 15 \sim 65^0\right) = 8{,}5.$$

Die Längen der Standröhren ergeben sich somit:

$$\text{Standrohr } 14: l_{14} = \frac{1500}{0{,}254 \cdot \pi \cdot 8{,}5 \left(\frac{71{,}7+65}{2} - 15\right)} = 4{,}14 \text{ m},$$

$$\text{„ } 15: l_{15} = \frac{1400}{0{,}254 \cdot \pi \cdot 8{,}5 \left(\frac{71{,}7+77{,}8}{2} - 15\right)} = 3{,}45 \text{ m},$$

$$\text{„ } 16: l_{16} = \frac{1600}{0{,}254 \cdot \pi \cdot 8{,}5 \left(\frac{77{,}8+85}{2} - 15\right)} = 3{,}7 \text{ m}.$$

Die Entfernung der Mitte des Standrohrs 14 von Kesselmitte beträgt somit, wenn der Abstand über Fussboden zu 0,27 m angenommen wird . . . . . $h_{14} = 4{,}24$ m,
die Entfernung der Mitte des Standrohrs 15 von Kesselmitte beträgt somit, wenn der Abstand über Fussboden zu 0,27 m angenommen wird . . . . . $h_{15} = 8{,}1$ m,
die Entfernung der Mitte des Standrohrs 16 von Kesselmitte beträgt somit, wenn der Abstand über Fussboden zu 0,27 m angenommen wird . . . . . $h_{16} = 12{,}62$ m.

Es ist also die für die Annahmetabelle massgebende mittlere Entfernung von Mitte Kessel:

$$h_V = \frac{W_{14}h_{14} + W_{15}h_{15} + W_{16}h_{16}}{W_{14} + W_{15} + W_{16}} = \frac{1500 \cdot 4{,}24 + 1400 \cdot 8{,}1 + 1600 \cdot 12{,}62}{4500} = 8{,}23 \text{ m}.$$

b) Berechnung der Rohrweiten. Was allgemein über die Berechnung bei Beispiel 1 gesagt ist, hat natürlich auch für dieses Beispiel Gültigkeit, es ist also auf das dort Gesagte zunächst zu verweisen. Wie früher mögen auch jetzt die angenommenen Rohrdurchmesser der Hauptleitung auf der rechten Seite der Anlage beibehalten werden, auf der linken Seite bildet die Hauptleitung gleichzeitig den Fallstrang, so dass hier eine Nachrechnung zu erfolgen hat.

Stromkreise der Heizkörper 1, 2, 3 und 4. Die ganze Anordnung hat sich in nichts gegen Beispiel 1 geändert, weshalb alles wie dort zu belassen ist.

Stromkreise der Heizkörper des Stranges II. Die Temperaturen in den einzelnen Heizkörpern haben bereits Bestimmung gefunden, es hat nun nach Massgabe derselben die Berechnung der wirksamen Druckhöhen der einzelnen Heizkörper zu folgen.

Nach den Gleichungen 156—159 Seite 227 ist:

Digitized by Google

$$(ah)_5 = (0{,}7 - 0{,}1)\, a_1 + (0{,}1 + 1{,}9)\, a_2,$$
$$(ah)_6 = 0{,}6 \cdot a_2 + 4{,}3 \cdot a_4 + 2 \cdot a_2,$$
$$(ah)_7 = 0{,}6\, a_5 + 4{,}3\, a_6 + 4{,}3\, a_4 + 2\, a_2.$$

a_1 ist nach Gl. 132 zu bilden für 85° und 51,1° (rund 51°),
a_2 „ „ „ „ „ „ „ 85° „ 65°,
a_3 „ „ „ „ „ „ „ 85° „ 58,4° (rund 58°),
a_4 „ „ „ „ „ „ „ 85° „ 71,1° (rund 71°),
a_5 „ „ „ „ „ „ „ 85° „ 65°,
a_6 „ „ „ „ „ „ „ 85° „ 78,4° (rund 78°).

Es ergiebt sich alsdann:

$$a_1 = \frac{0{,}98767 - 0{,}96876}{\frac{0{,}98767 + 0{,}96876}{2}} = 0{,}0193 \text{ und entsprechend}$$

$a_2 = 0{,}0123,$
$a_3 = 0{,}0157,$
$a_4 = 0{,}0087,$
$a_5 = 0{,}0123,$
$a_6 = 0{,}0043.$

Die wirksamen Druckhöhen sind dann:

$$(ah)_5 = 0{,}0362,$$
$$(ah)_6 = 0{,}0714,$$
$$(ah)_7 = 0{,}0879.$$

Es berechnen sich nun die einzelnen Stromkreise wie folgt.

Stromkreis des Heizkörpers 5. Theilstrecken 5, 36, 19—25, 30—34. Festgelegt sind bereits die Theilstrecken 19—25 mit einer Widerstandshöhe von 0,02193. Es stehen somit, da die wirksame Druckhöhe $(ah)_5 = 0{,}0362$ beträgt, noch 0,01427 m zur Verfügung. Es möge für Strang II ein durchweg gleich starkes Rohr von 0,039 m Durchmesser gewählt werden, so dass also die Theilstrecken 30—36 diesen Durchmesser erhalten, alsdann ergiebt sich die Summe der Widerstandshöhe für diese Theilstrecken zu 0,01168 m, für Theilstrecke 5 bleibt alsdann noch übrig zur Verfügung $0{,}01427 - 0{,}01168 = 0{,}00259$ m. Wählt man $d_5 = 0{,}025$ m, so ist die Widerstandshöhe 0,00227 m. Der Durchmesser könnte etwas verringert werden, doch ist er zu belassen, da das nächst niedrige Handelsmafs eine zu grösse Widerstandshöhe ergeben würde.

Stromkreis des Heizkörpers 6. Theilstrecken 6, 34, 35, 36, 19—25, 30, 31, 32. Festgelegt sind die Theilstrecken 34, 35, 36, 19—25, 30, 31, 32 mit einer Widerstandshöhe von 0,03387. Die wirksame Druckhöhe beträgt 0,0714 m, demnach bleibt für Theilstrecke 6 noch 0,03753 übrig. Der Durchmesser d_6 ist daher 0,014 zu wählen, gegen die Annahme 0,020 um ein Handelsmafs zu erniedrigen.

Stromkreis des Heizkörpers 7. Theilstrecken 7, 32—36, 19—25, 30. Widerstandshöhe der festgelegten Theilstrecken 0,03361 m, bleibt für Theilstrecke 7, da deren wirksame Druckhöhe 0,0879 m beträgt, 0,05429 m übrig, was den gewählten Durchmesser von 0,014 m ergiebt.

Stromkreise der Heizkörper des Stranges III. Die Temperaturen sind bereits bestimmt, es bleibt noch die Aufstellung der wirksamen Druckhöhen. Nach Gl. 132 ist für Heizkörper 9, 10 und 11 das a zu bilden für die Temperaturen 85° und 68°, für Heizkörper 8 für die Temperaturen 68° und 65°. Die wirksame Druckhöhe des letzteren Heizkörpers ist, weil negativ, von derjenigen der Heizkörper 9 bezw. 10 bezw. 11 abzuziehen. Es ist also:

$$(ah)_9 = a_9 h_9 - a_8 h_8 = 0{,}0105 \cdot 6{,}9 - 0{,}0017 \cdot 0{,}3 = 0{,}07194,$$
$$(ah)_{10} = a_{10} h_{10} - a_8 h_8 = 0{,}0105 \cdot 11{,}5 - 0{,}0017 \cdot 0{,}3 = 0{,}12024,$$
$$(ah)_{11} = a_{11} h_{11} - a_8 h_8 = 0{,}0105 \cdot 11{,}2 - 0{,}0017 \cdot 0{,}3 = 0{,}11709.$$

Digitized by Google

In der Behandlung für Berechnung der einzelnen Stromkreise ändert sich gegen früher nichts, so dass auf die bereits eingehend behandelten Stromkreise zu verweisen ist.

Stromkreis der Heizkörper 14, 15 und 16. Dieselben müssen zusammen behandelt werden, da nur ein Strang mit 3 eingeschalteten Heizkörpern vorhanden ist. Die Temperaturen des Wassers in den Standröhren sind bestimmt. Für die Bestimmung der wirksamen Druckhöhe ah ist zu bilden nach Gl. 132:

a_{14} für 85° und 65°,
a_{15} „ 85° „ 71,7°,
a_{16} „ 85° „ 77,8°,

daher ist:

$a_{14} = 0{,}0123,$
$a_{15} = 0{,}0084,$
$a_{16} = 0{,}0046.$

Nach Gl. 163 ergiebt sich dann die wirksame Druckhöhe:

$$ah = a_{14}h_{14} + a_{15}(h_{15} - h_{14}) + a_{16}(h_{16} - h_{15}) = 0{,}0123 \cdot 4{,}05 + \\ + 0{,}0084 \cdot 3{,}95 + 0{,}0046 \cdot 4{,}35 = 0{,}103 \text{ m}.$$

Da die Standröhren nur aus verhältnissmässig engem Rohre bestehen, so dass die Geschwindigkeit des Wassers in denselben anscheinend nicht 0 gesetzt werden kann, soll zunächst die Grösse der Widerstandshöhe durch Reibung berechnet werden. Bei dem Durchmesser der Standröhren von 0,241 m ist die erforderliche Wassergeschwindigkeit in denselben nach Gl. 130:

$$v = \frac{\Sigma W}{A d^2 (t' - t'')}.$$

Für $\Sigma W = 4500$, $t' - t'' = 20$ ergiebt sich nach Tabelle 14, III eine weit unter 0,01 m liegende Geschwindigkeit. Genau berechnet ist dieselbe nur 0,00014 m, so dass sie thatsächlich vernachlässigt werden kann; da aber die Geschwindigkeit in jedem Standrohre verloren geht und sie wieder in dem Leitungsrohre hervorgerufen werden muss, so ist für jedes Standrohr als Widerstand der Werth 1 einzusetzen.

Die Gesammtrohrlänge der Theilstrecke 42 (ausschliesslich der Standröhren soll 32,5 m betragen (in der Zusammenstellung bereits enthalten); es seien in derselben noch 5 Bogen vorhanden, die in $\Sigma\zeta$ mit 2,5 aufzunehmen sind, ausserdem kommt noch für jedes Standrohr, wie bereits erwähnt, ein Widerstand von 1 hinzu, so dass $\Sigma\zeta = 5{,}5$ zu setzen ist. Es lautet alsdann die Gleichung für die Theilstrecke 42 einschliesslich der 3 Standröhren:

$$0{,}103 = \frac{v_{42}^2}{2g}\left(\frac{\varrho_{42}}{d_{42}} 32{,}5 + 5{,}5\right).$$

Für $W_{42} = 4500$, $t' - t'' = 20$ ergiebt sich die rechte Seite dieser Gleichung nach Tabelle 14, III für:

$d_{42} = 0{,}025$ m zu 0,05354 m,
$d_{42} = 0{,}020$ m „ 0,13463 m,

es muss somit, da $0{,}13463 > 0{,}103$ ist, der Durchmesser $d_{42} = 0{,}025$ m gewählt werden, wie dies in der Annahmeaufstellung auch enthalten ist.

Man ersieht hieraus, dass es in der Regel genügt, bei Standröhren die Reibung zu vernachlässigen und jede nur als einen in die Theilstrecke eingeschalteten Heizkörper mit dem Widerstande = 1 zu betrachten; natürlich muss die Berechnung der wirksamen Druckhöhe für die Theilstrecke nach Bestimmung der Längen der Standröhren, wie weiter oben behandelt, angestellt werden.

Digitized by Google

Beispiel 4. Aufgabe. Gewächshausheizung. Die Anordnung der Anlage zeigen Fig. 52 und 53, die zweckentsprechendste soll zur Ausführung gewählt werden.

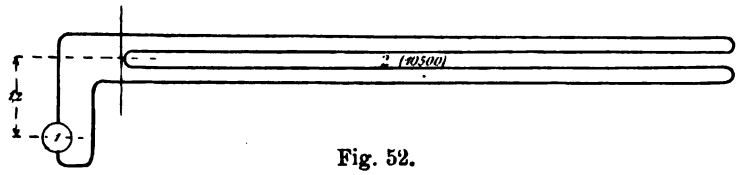


Fig. 52.

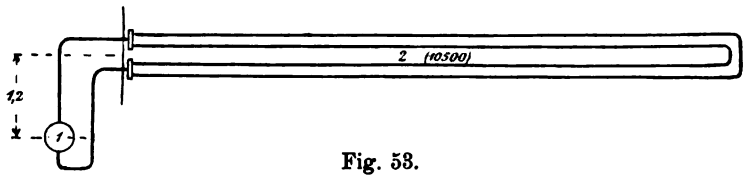


Fig. 53.

Die grösste horizontale Ausdehnung der Anlage darf 30 m nicht überschreiten. Die gesammte stündliche Wärme-Abgabe der Wärmröhren beträgt 10500 *WE*, die zur Verfügung stehende Höhe von Mitte Kessel bis Mitte Wärmröhren, von denen nicht mehr als 4 über einander liegen sollen, 1,2 m. Die Temperatur des Wassers im Steigrohre (t') soll 80°, diejenige im Rücklaufe (t'') 60°, die Raumtemperatur (t_s) 20° betragen.

Lösung der Aufgabe. Die Länge des Wärme abgebenden Rohres beträgt, wenn der äussere Durchmesser D_1 ist, allgemein:

$$L = \frac{W}{\pi D_1 \cdot k\left(\frac{t' + t''}{2} - t_s\right)}.$$

Da $W = 10500$, $\frac{t' + t''}{2} = 70$, $t_s = 20$ ist, so muss sein:

$$L = \frac{10500}{\pi D_1 k (70 - 20)} = \frac{210}{\pi D_1 k}.$$

Wählt man ein Rohr von etwa 0,050 m Weite, so kann nach Tabelle 13 $k = 11$ gesetzt werden (da Kupfer gewählt werden wird, die Tabelle sich aber auf Eisenrohr bezieht, stellt sich der Koefficient thatsächlich noch etwas höher, der Sicherheit halber soll der angenommene jedoch beibehalten werden), also ergiebt sich:

$$L = \frac{19}{\pi D_1}.$$

Als Wärmerohr möge nun ein Kupferrohr von $D = 0{,}049$ m lichter Weite und 0,0025 m Wandstärke gewählt werden, also ist $D_1 = 0{,}054$ m und

$$L = \frac{19}{0{,}1696} \sim 112 \text{ m}.$$

Bei 4 Lagen Rohr über einander wird jede Lage somit 28 m lang, was der Bedingung für die grösste horizontale Ausdehnung der Anlage genügend entspricht.

Wird zunächst die Anordnung Fig. 52 gemäss Gl. 160:

$$ah = \frac{v^2}{2g}\left(\frac{\varrho}{d} l + \Sigma\zeta\right) + \frac{V^2}{2g}\left(\frac{P}{D} L + \Sigma Z\right)$$

Digitized by Google

berechnet, so muss die Geschwindigkeit V im Wärme abgebenden Rohre gemäss Gl. 130 sein:

$$V = \frac{10500}{A \cdot 0{,}049^2 (80 - 60)},$$

d. h. nach Tabelle 14, III: $V = 0{,}080$ m.

Da 3 Doppelbogen im Wärmerohre sich befinden, sonst aber das Rohr glatt an einer Wand liegen soll, so ist $\Sigma Z = 3 \cdot 0{,}8 \sim 2{,}5$ zu setzen und somit nach Tabelle 14, III:

$$\frac{V^2}{2g}\frac{P}{D} L = 0{,}00032 \cdot 112 = 0{,}03584 \text{ m},$$
$$\frac{V^2}{2g} \Sigma Z = 0{,}00082 \text{ m},$$
$$\text{Sa. } 0{,}03666 \text{ m}.$$

Es ergiebt sich also:

$$ah = \frac{v^2}{2g}\left(\frac{\varrho}{d} l + \Sigma\zeta\right) + 0{,}03666.$$

h ist 1,2 m, a für $t' = 80$ und $t'' = 60$ nach Tabelle 14, II: 0,0117, es zeigt sich also, dass die Anlage nicht möglich ist, da ah nur 0,013804 wird. Auch die Anordnung nach Fig. 53 ist nicht möglich, da die Widerstandshöhe im Wärmerohre sich zu 0,01841, also auch $> 0{,}013804$ ergeben würde. Man ersieht jedoch aus diesen Ergebnissen, dass die Anordnung nach Fig. 53 ein Wärmerohr von wesentlich geringerem Durchmesser gestattet als Fig. 52, so dass die Anlage nach Fig. 53 nunmehr der weiteren Betrachtung zu Grunde gelegt werden soll.

Das Wärmerohr muss einen grösseren Durchmesser erhalten und zwar möge $D = 0{,}057$ m, $D_1 = 0{,}062$ m gewählt werden, so dass

$$L = \frac{19}{0{,}195} \sim 98 \text{ m}$$

und jeder der beiden Rohrzüge $\frac{98}{2} = 49$ m lang wird. Nach Tabelle 14, III ist alsdann für $W = 10500$ und $D = 0{,}057$:

$$V = 0{,}6,$$
$$\frac{V^2}{2g}\frac{P}{D} \cdot 49 = 0{,}00017 \cdot 49 = 0{,}00833 \text{ m},$$
$$\frac{V^2}{2g} \Sigma Z \text{ (für 2 Bogen } \Sigma Z = 1) = 0{,}00018 \text{ m},$$
$$\text{Sa. } 0{,}00851 \text{ m},$$

also ergiebt sich:

$$0{,}0117 = \frac{v^2}{2g}\left(\frac{\varrho}{d} l + \Sigma\zeta\right) + 0{,}00851, \text{ somit}$$

$$\frac{v^2}{2g}\left(\frac{\varrho}{d} l + \Sigma\zeta\right) = 0{,}00319.$$

Ist die Länge des Leitungsrohrs von und nach dem Kessel $l = 10$ m und befinden sich 4 Bogen in demselben, ist also $\Sigma\zeta$ einschliesslich des Kessels $= 3$ zu setzen, so ergiebt sich nach Tabelle 14, III für $W = 10500$:

$$d = 0{,}057 \text{ m}, \; v = 0{,}06 \text{ m}, \; \frac{v^2}{2g}\left(\frac{\varrho}{d} l + \Sigma\zeta\right) = 0{,}00225,$$
$$d = 0{,}049 \text{ m}, \; v = 0{,}08 \text{ m}, \; \frac{v^2}{2g}\left(\frac{\varrho}{d} l + \Sigma\zeta\right) = 0{,}00418,$$

es ist mithin ein Rohrdurchmesser von $d = 0{,}057$ m für das Leitungsrohr zu wählen.

Digitized by Google

VI. Das Ausdehnungsgefäss einer Warmwasserheizung.

Ueber dem höchsten Punkte der Anlage befindet sich das Ausdehnungsgefäss und ist mit diesem verbunden.

Bei Niederdruck stellt das Gefäss ein einfaches kleines Reservoir dar, welches etwa 10—15 cm vom Boden mit der Anlage durch ein etwa 0,025—0,038 m weites Rohr zu verbinden ist. Ungefähr 25 cm vom Boden zweigt das Signalrohr (s. S. 206), in seiner Fortsetzung am besten ein Kupfer- oder Bleirohr, ab, das nach dem Heizerstande führt und daselbst durch einen Hahn zu verschliessen ist. Von der Einmündung des Signalrohres ab ist die weitere Höhe des Gefässes so zu bemessen, dass die durch die Erwärmung aus der Anlage verdrängte Wassermenge $1^1/_2$ bis doppelt so gross sein dürfte, als sie wirklich ist. In dieser sich ergebenden Höhe des Gefässes ist ein möglichst weites Ueberlaufrohr anzuordnen, das in ein Abfallrohr zu endigen hat. Ist das Abfallrohr ein Abflussrohr der Wasserleitung, so muss zur Vermeidung des Austritts von Gerüchen innerhalb des Gefässes das Ueberlaufrohr nach unten verlängert werden und etwa 10 cm vom Boden beginnen.

Ueber dem Ueberlaufrohre ist bis zum oberen Rande noch etwa 10 cm Platz zu lassen und alsdann das Gefäss mit einem gutschliessenden Deckel zu versehen.

Soll statt des Signalrohrs ein Manometer im Heizerraume den Wasserstand im Ausdehnungsgefässe zur Anzeige bringen (s. S. 207), so empfiehlt es sich, dem Ausdehnungsgefässe eine verhältnissmässig kleine Grundfläche und grosse Höhe zu geben, um eine möglichst bedeutende Verschiedenheit des Wasserdrucks bei den verschiedenen Temperaturgraden hervorzurufen.

Bei Mitteldruckheizung hat das Gefäss entweder die gleiche Form wie bei Niederdruck oder diejenige eines Windkessels. Im ersten Falle muss das Verbindungsrohr mit der Anlage innerhalb des Gefässes in einem — meist an einem Körper gemeinsam angebrachten — Druck- und Saugventile endigen, von denen das erste bei der Ausdehnung des Wassers behufs Austritts, das letzte bei Erkaltung desselben behufs Zurücktritts des Wassers in Thätigkeit kommt. Das Druckventil ist derartig zu belasten, dass es bei Ueberschreiten um etwa 10^0 der zulässigen Temperatur im Kessel abbläst. Bei Anwendung eines Windkessels gilt bezüglich der Verbindung mit der Anlage und dem Signalrohre dasselbe, nur fällt das Ueberlaufrohr weg, dagegen muss vom höchsten Punkte des Windkessels noch ein unten verschliessbares Rohr nach dem Heizerstande führen, das beim Nachfüllen der Anlage bis zum Signalrohre zu öffnen ist.

Die Anwendung eines Windkessels hat den Vortheil, bei Offenhalten des letzterwähnten Rohres die Anlage bei mittlerer Wintertemperatur als Niederdruckheizung betreiben zu können. Zum Reinigen

Digitized by Google

des Windkessels ist am Boden ein Auslass — einfache Messingverschraubung genügt — anzubringen.

Wer die Absicht hat, sich in seinem Gebäude eine Niederdruck- und keine Mitteldruck-Warmwasserheizung anlegen zu lassen — was allein auch nur zu empfehlen ist — betone dies ausdrücklich und bestelle nicht bloss eine „Warmwasserheizung", gestatte alsdann niemals die Anordnung eines Windkessels oder eines Ventils im Ausdehnungsgefässe.

Zwölftes Kapitel.

Heisswasserheizung.

(Siehe Tafel XVI.)

I. Anordnung, Ausführung und Anwendungsgebiet.

Das Princip, das der Heisswasserheizung zu Grunde liegt, ist dasselbe wie dasjenige bei der Warmwasserheizung, nur bestehen die Wärme aufnehmenden und Wärme abgebenden Heizflächen sowie das Leitungsrohr aus Röhren von gleichem und zwar in der Regel von 0,023 m lichtem und 0,033 m äusserem Durchmesser.

Die gesammte Anlage stellt somit ein Rohr ohne Ende dar, von dem ein Theil, gewöhnlich in Spiralen gewunden — in der Praxis mit dem Namen „Schlangen" belegt — mit den Verbrennungsgasen in Berührung steht, ein Theil in irgend welcher Anordnung in den betreffenden Räumen untergebracht wird.

Bei dem geringen lichten Durchmesser ist die Gefahr der Luftansammlung an einem Punkte in dem Maße wie bei Warmwasserheizung nicht vorhanden, geringe Luftmengen werden gleichmässig mit dem Wasser fortgeführt. Hierin liegt der Vortheil, dass die Röhren wenn nöthig auf- und abwärts geführt werden können, der Nachtheil dagegen, dass bei Eintritt von grösseren Luftblasen in das den Verbrennungsgasen ausgesetzte Rohr Poltern und Stossen, auch Explosion durch plötzliche Dampfbildung, eintreten kann. Um letztere möglichst zu vermeiden, wird die gesammte Anlage vor der Benutzung im gefüllten aber kalten Zustande unter einem Drucke, der 100 bis 150 Atm. gleichkommt, geprüft.

Auf grösste innere Reinheit der Röhren ist zu achten, damit nicht durch Ansammlung von Unreinigkeiten eine Verstopfung und dann an irgend einer Stelle ein Platzen der Röhren während des Betriebes, das stets einer Explosion gleichkommt, eintreten kann; in

Digitized by Google

den ersten Jahren ist daher ein öfteres erneutes Füllen der Anlage erwünscht.

Damit alle Luft beim Füllen entweicht, hat dasselbe nicht durch die Wasserleitung, sondern mittels Füllpumpe zu geschehen, unter Beobachtung der Vorsicht, dass das Wasser sich nur in einer Richtung der Rohrleitung fortbewegen kann und nach dem Füllen in längerem Umlaufe erhalten wird. Zu diesem Zwecke sind besondere Vorrichtungen — gewöhnlich sogenannte „Durchpumphähne“ — in Anwendung zu bringen.

Das Wärme aufnehmende, Wärme abgebende und das Wasser lediglich zu fördernde Rohr nennt man zusammen ein „System“. Es können mehrere Systeme auch gekuppelt werden, indem man das zurückkehrende Wasser des ersten Systems in das Wärme aufnehmende Rohr des zweiten Systems u. s. w. und schliesslich das zurückkehrende Wasser des letzten Systems in das Wärme aufnehmende Rohr des ersten Systems eintreten lässt. Die Wärme aufnehmenden Heizspiralen werden alsdann ein und demselben Feuerstrome ausgesetzt. Nur für Räume, die so viel Wärmerohr erfordern, dass mehrere Systeme nothwendig werden (Säle), ist die Kuppelung zu empfehlen.

Die Dichtung der Röhren erfolgt ausschliesslich durch Aneinanderpressen der Rohrenden — von denen das eine flach gefeilt, das andere scharf gefraist ist — mittels Muffen mit Rechts- und Linksgewinde. Dichtmaterial (wie das Einlegen von Kupferringen) darf keinesfalls verwendet werden.

Eine eigentliche Wärmeregelung wie bei Warmwasserheizung ist nicht zu erzielen, nur durch Anweisung eines kürzeren Weges für das Wasser vermittels der hierfür konstruirten „Zwei-“ und „Dreiweghähne“ lässt zich in einem Raume ein Theil des Wärmerohrs, aber immer zu Ungunsten der gleichmässigen Wärme-Erhaltung in den anderen Räumen, ausschalten. Eine mittelbare aber auch nicht zu empfehlende Regelung ist durch Isolirmäntel zu erzielen (s. später bei Dampfheizung).

Die Temperatur des die Feuerschlangen verlassenden Wassers kann nur annähernd durch angelegte Thermometer gemessen werden, die entweder in mit Oel gefüllten Hülsen stecken oder durch Quecksilberamalgam, aus dem sich beim Heizen das Quecksilber verflüchtigt, mit dem Rohre verbunden werden. (Konstr. von J. L. Bacon.)

Zur Aufnahme des infolge Erwärmung austretenden Wassers dienen wie bei der Mitteldruck-Warmwasserheizung entweder offene Ausdehnungsgefässe mit Druck- und Saugeventil bei Einmündung der Rohrleitung oder geschlossene Ausdehnungsröhren (Windkessel). Erstere haben genau dieselbe Konstruktion wie bei der Warmwasserheizung, letztere bestehen aus einer entsprechenden Anzahl senkrechter und mit einander verbundener Röhren von einem etwa 0,06 m bis 0,07 m lichten Durchmesser. Die Gesammtlänge dieser Röhren hat alsdann

Digitized by Google

etwa $^1/_{60}$ bis $^1/_{50}$ der Länge des Heizsystems zu betragen. Bei den offenen Ausdehnungsgefässen ist darauf zu achten, dass dieselben etwa den halben Wasserinhalt des gesammten Heizsystems aufnehmen können.

Es sollten in der Praxis nur Ausdehnungsröhren Anwendung finden. Bei richtiger Bemessung derselben steigt die Spannung in der Anlage nur der Temperatur des Wassers entsprechend (bei 150° Wassertemperatur also auf rund 5 Atm.), bei Anwendung von offenen Ausdehnungsgefässen sind Druckventile erforderlich, die ausserdem oftmals über Gebühr, d. h. derartig belastet werden, dass sie sich erst bei einem Drucke, der einer Dampfspannung von 60—80 Atm. gleichkommt, heben. Der durch die Belastung hervorgebrachte Druck herrscht immer, auch während des geringsten Betriebs, in der Anlage und kann bei einer Explosion sehr üble Folgen haben. Bei Unachtsamkeit des Betriebs kann durch das Saugeventil auch Luft in die Anlage treten und ist dann ein erneutes Durchpumpen erforderlich.

Jede Heisswasserheizung soll mit einem Manometer versehen werden.

Bei dem geringen Wasserinhalte der Röhren ist unter Umständen ein Einfrieren des Wassers leicht möglich. Es ist versucht worden, dasselbe durch geeignete Beimischungen zu dem Wasser zu vermeiden, doch haben diese meist Uebelstände zur Folge. Glycerin schwitzt durch die Muffen und riecht, Salzlösungen greifen das Rohr und die Messingtheile an; Spiritus ($^1/_8$ des Röhreninhalts), der zur Zeit vielfach Verwendung findet, trennt sich nach Versuchen des Verfassers bei offenen Ausdehnungsgefässen vom Wasser. Der Grund hierfür ist in dem niedrigen Siedepunkte des Spiritus zu suchen, da sich bei Abkühlung der Anlage Spiritusdämpfe entwickeln, die späterhin kondensiren. Bei Anwendung von Ausdehnungsröhren dagegen ist der Fall wiederholt beobachtet worden, dass im kalten Zustande des Systems eine nicht ganz unbedeutende Spannung in demselben herrschte, da beim Oeffnen einer Verschlussmuffe die Flüssigkeit unter grossem Drucke entwich. Die Ursache hierfür bildet der Umstand, dass sich durch Zersetzung des Spiritus Gase entwickeln. Es sollte daher Spiritus zur Beimengung zum Wasser nicht verwendet, vielleicht als solche sogar behördlich untersagt werden, da die erwähnten Uebelstände Gefahren mit sich bringen können. Ein neueres Präparat „Calcidum“ der chemischen Fabrik Busse in Hannover-Linden soll Eisen nicht angreifen und sich besser bewähren. Nach Versuchen des Verfassers scheidet sich aber auch bei längerer Berührung der Flüssigkeit mit dem Eisen Oxyd — wenn auch in nicht bedeutendem Mafse — ab; wie sich das Präparat in der Wärme verhält, ist bisher noch unbekannt.

Digitized by Google

Bezüglich der für die Anordnung noch in Frage kommenden Punkte (Durchführung durch Wände, Schutz gegen Wärme-Abgabe, Befestigung u. s. w.) wird auf die Anordnung der Röhren bei Warmwasserheizung verwiesen.

Der Vortheil einer Heisswasserheizung besteht in der leichten Vertheilung des Wärmerohrs, in der Möglichkeit, dasselbe nach Bedarf steigend oder fallend, also mit Umgehung körperlicher Hindernisse, anwenden zu können, sie ist daher für Einfügung in fertige Gebäude geeignet, für die ursprünglich eine Centralheizung nicht vorgesehen war; auch ermöglicht sie rasche Erwärmung der Räume zufolge ihres geringen Wasserinhalts. Dagegen ist niemals die Gefahr einer Explosion ausgeschlossen; dieselbe wird durch mangelhafte Ausführung wesentlich gesteigert, weshalb für diese wie bei der Anlage von Hochdruck-Dampfkesseln behördliche Vorschriften erwünscht wären. Sie gestattet, wie bereits erwähnt, keine unmittelbare Wärmeregelung und ermöglicht für mehrere gemeinsam durch eine Anlage zu erwärmende Räume nur für einen bestimmten Wärmebedarf eine den Forderungen entsprechende Wärmevertheilung, da bei jedem anderen Wärmebedarfe das Wasser auf andere Temperaturen erwärmt werden muss, die Wärme-Abgabe der einzelnen Rohrlängen aber nicht proportional dieser Temperaturänderung zu- oder abnimmt. Sie eignet sich daher hauptsächlich nur für einzelne Räume, die eine in sich geschlossene Anlage möglich machen, bei der also die gesammte dem Brennmateriale entnommene Wärme nur einem Raume überliefert werden soll. Bei mehreren durch eine Anlage erwärmten Räumen bilden allerdings die Wände des Gebäudes in gewissem Sinne einen Temperaturregler, d. h. sie gleichen Wärmeschwankungen etwas aus. Damit der angeführte Fehler der Heisswasserheizung auf das geringste fühlbare Mafs beschränkt bleibt, empfiehlt es sich, bei mehreren durch ein System geheizten Räumen die gesammte erforderliche Rohrlänge für die niedrigste Aussentemperatur, also für den grössten Wärmebedarf zu berechnen, die Rohrvertheilung aber für den Wärmebedarf einer mittleren Wintertemperatur vorzunehmen. Die Ausnutzung der Wärme des Brennmaterials ist im Allgemeinen keine so gute als wie bei der Warmwasserheizung, da der Querschnitt der Züge für die Heizgase gegenüber der dargebotenen Heizfläche meist grösser als für den Durchgang der Heizgase erforderlich, ausgeführt werden muss.

Digitized by Google

II. Berechnung der Heisswasserheizung.*)

A) Theorie.

Fig. 54 stellt die einfachste Anordnung einer Heisswasserheizung dar. F ist der dem Feuer ausgesetzte Theil des Rohres, der durch das vor Wärme-Abgabe geschützte Leitungsrohr mit dem Wärme abgebenden Rohre bei A in Verbindung steht. Da eine Heisswasserheizung aus nichts weiter als aus einem gleichweiten Rohre ohne Ende besteht, so ist nicht wie bei der Warmwasserheizung eine getrennte Berechnung der Wärme aufnehmenden und Wärme abgebenden Heizflächen sowie der einzelnen Rohrdurchmesser, sondern nur eine solche der einzelnen Längen des Rohrzuges anzustellen.

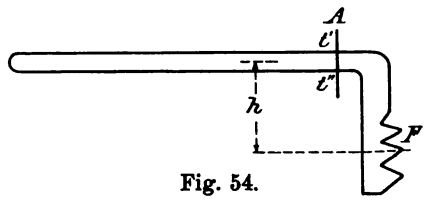


Fig. 54.

Die gesammte in einem Systeme befindliche Länge L zerfällt in:

l_1 die Länge des von den Feuergasen bespülten Rohres (Feuerschlange),
l_2 die Länge des vor Wärme-Abgabe zu schützenden Leitungsrohrs,
l_3 die Länge des Wärmerohrs.

Von diesen Grössen ergiebt sich l_2 aus der Anordnung der Anlage, l_1 und l_3 sind zu berechnen.

Für l_1 ist für Gegenstrom, der fast immer Anwendung findet, zu setzen, da 10 laufende Meter Rohr fast genau 1 qm Oberfläche besitzen:

$$l_1 = \frac{10\,W}{k\left\{(T_1 - T_2) - (t' - t'')\right\}} \ln \frac{T_1 - t'}{T_2 - t''}, \qquad (164)$$

wenn bedeutet:

W die gesammte in den Räumen stündlich bei der niedrigsten Aussentemperatur zu liefernde Wärmemenge,
T_1 die Temperatur der Feuergase beim ersten Berühren der Feuerschlange,
T_2 die Temperatur der Feuergase beim Verlassen der Feuerschlange,
t' die Temperatur, mit der das Wasser die Feuerschlange verlässt,
t'' die Temperatur, mit der das Wasser in die Feuerschlange eintritt,
k den Wärme-Ueberführungskoefficienten bezogen auf die äussere Fläche des Rohres (etwa 13—14).

*) Vergl. Gesundheits-Ingenieur 1889, No. 1 und 2, desgl. 1881, No. 13 und 14, 1882, No. 11.

Digitized by Google

Wählt man $T_1 = 1200^0$, $T_2 = 250^0$, $t' = 150^0$, $t'' = 80^0$, $k = 13$, so ist:

$$l_1 = 0{,}0016\ W.$$

Wählt man $T_1 = 1000^0$, $T_2 = 200^0$, $t' = 150^0$, $t'' = 80^0$, $k = 13$, so ist:

$$l_1 = 0{,}002\ W. \qquad (165)$$

Die letzteren Annahmen müssen als sehr ungünstige für die Grössenbestimmung der Feuerspirale bezeichnet werden, da indessen eine etwas grosse Spirale niemals einen Fehler bedeutet, so kann zur besseren Ausnutzung des Brennmaterials der letzte Werth für l_1 jederzeit beibehalten werden.

Für die Länge des Wärme abgebenden Rohres l_3 ist nach Massgabe der früher erwähnten Versuche des Verfassers (s. S. 168) zu setzen:

$$l_3 = \frac{10\,W}{k\left(\frac{t' + t''}{2} - t_z\right)}, \qquad (166)$$

wenn ausser den bereits bekannten Bezeichnungen t_z die Temperatur bedeutet, mit der die Luft den Wärmeröhren zuströmt (Raumtemperatur).

Für k ist der entsprechende Werth aus Tabelle 13, II zu entnehmen.

Wie bei der Warmwasserheizung ist eine erforderliche und eine erreichbare Geschwindigkeit des Wassers zu unterscheiden, beide müssen einander gleich sein, wenn der gewünschte Effekt der Anlage bei den für die Vertheilung anzunehmenden Verhältnissen (s. später) gesichert sein soll.

Zur Bestimmung der erforderlichen Geschwindigkeit dient dieselbe Gleichung wie bei der Warmwasserheizung auf S. 217. Bezeichnet:

W die stündlich vom Wärmerohre abgegebene Wärmemenge in WE,
t' bezw. t'' die Temperatur des Wassers vor bezw. nach der Wärme-Abgabe,
γ' bezw. γ'' die Dichtigkeit des Wassers bei der Temperatur t' bezw. t'',
v die sekundliche Geschwindigkeit des Wassers in der Anlage in m,
d den lichten Durchmesser des Rohres in m,

so muss sein:

$$v = \frac{W}{1000\,(t' - t'')\,3600\,\frac{d^2\pi}{4}\,\frac{\gamma' + \gamma''}{2}}.$$

Digitized by Google

Da der Durchmesser d zur Zeit in der Praxis immer zu 0,023 m angenommen wird und ohne einflussreiche Fehler zu machen in dieser Gleichung bei allen Anlagen für γ' der Werth für Wasser von 150^0, für γ'' der Werth für Wasser von 80^0 gesetzt werden kann, so geht die Gleichung in die andre über:

$$v = \frac{W}{1400\,(t' - t'')}. \qquad (167)$$

Genau wie bei Warmwasserheizung (s. S. 218) ist ferner als Gleichung für die erreichbare Geschwindigkeit

$$h\,(\gamma'' - \gamma') = \frac{v^2}{2g}\,\frac{\gamma' + \gamma''}{2}\left(\frac{\varrho}{d}\,L + \Sigma\zeta\right)$$

anzunehmen, wenn ausser den bekannten Bezeichnungen bedeutet:

h den senkrechten Abstand zwischen der horizontalen Mittelebene der Wärme aufnehmenden und Wärme abgebenden Heizfläche in m,
L die Länge der Rohrleitung der gesammten Anlage in m,
ϱ den Reibungskoefficienten des Wassers an der Rohrwandung,
$\Sigma\zeta$ die Summe der in der gesammten Anlage vorkommenden einmaligen Widerstände.

In obiger Gleichung sind jedoch nicht wie bei der Warmwasserheizung γ' und γ'' als Konstante einzuführen, da die sich beständig ändernde Temperatur des Wassers Berücksichtigung finden muss. Nach Fischer*) kann die Dichtigkeit des Wassers bei der Temperatur t gesetzt werden:

$$\gamma = 1 - 0{,}000004\,t^2.$$

Benutzt man diesen Ausdruck, so erhält man aus obiger Gleichung die erreichbare Geschwindigkeit:

$$v = \sqrt{\frac{2\,g\,h\,0{,}000004\,(t'^2 - t''^2)}{\left\{1 - 0{,}000002\,(t'^2 + t''^2)\right\}\left(\frac{\varrho}{d}\,L + \Sigma\zeta\right)}}.$$

Der Ausdruck $1 - 0{,}000002\,(t'^2 + t''^2)$ ist gegen 1 sehr klein, es lässt sich also in demselben als Mittelwerth $t' = 150^0$ und $t'' = 80^0$ ohne Bedenken einführen. Nimmt man ausserdem wieder für d den gebräuchlichen Werth von 0,023 m an, so erhält man die erreichbare Geschwindigkeit:

$$v = 0{,}001384\sqrt{\frac{h\,(t'^2 - t''^2)}{\varrho L + 0{,}023\,\Sigma\zeta}}. \qquad (168)$$

*) S. Gesundheits-Ingenieur, Jahrgang 1882.

Digitized by Google

Nach Weisbach ist wieder der Reibungskoefficient zu setzen:

$$\varrho = 0{,}01439 + \frac{0{,}0094711}{\sqrt{v}}. \qquad (169)$$

$\Sigma\zeta$ geht aus der Anordnung hervor. Für jeden Bogen, der nicht den fünffachen Rohrdurchmesser zum Halbmesser hat — in diesem Falle ist $\zeta = 0$ zu setzen — kann $\zeta = 0{,}5$ für jeden Zwei- oder Dreiwegehahn 1 angenommen werden. Die Ausführung der Anlage muss bei diesen Annahmen als eine tadellose vorausgesetzt werden; die bei mangelhafter Arbeit durch das Biegen des Rohres entstehende Beeinträchtigung des runden Querschnitts oder die bei ungenügender Prüfung der Röhren vor dem Verlegen leicht eintretende Benutzung von Röhren mit fehlerhaften, den Querschnitt verengenden Schweissstellen, muss selbstverständlich als ausgeschlossen betrachtet werden.

In der Regel lässt sich durch Anordnung entsprechend grosser Bogen erreichen, dass $\Sigma\zeta = 0$ wird. Es ist dies bei jeder Anlage zu empfehlen; alsdann geht Gl. 168 in die andere über:

$$v = 0{,}001384 \sqrt{\frac{h(t'^2 - t''^2)}{\varrho L}}. \qquad (170)$$

Werden alle Grössen derartig gewählt, dass die erforderliche Geschwindigkeit (Gl. 166) gleich der erreichbaren (Gl. 168 bezw. 170) wird, so ist die Anlage als richtig berechnet anzusehen.

Die Anwendung vorstehender Theorie auf die Praxis geht aus der nachstehenden Beobachtung der Einzelfälle hervor, vorab kann jedoch, was aus dem Vorstehenden zu ersehen ist, gesagt werden, dass die Berechnung einer Heisswasserheizung, sofern das gesammte Wärme abgebende Rohr nur zur Erwärmung eines Raumes dient, die einfachste aller Heizungsanlagen ist, dass sie aber zur umständlichsten aller Heizungsanlagen wird, wenn durch dieselbe die gleichzeitige Erwärmung einer Anzahl Räume erfolgen soll, weil die Wärme-Abgabe des Rohrzugs sich beständig ändert und dieser Aenderung entsprechend die Vertheilung des Rohres vorzunehmen ist. Da für diese Vertheilung ausserdem noch bestimmte in der Praxis nicht immer einhaltbare Annahmen zu machen sind, so wird vielfach die Berechnung durch die Erfahrung der Ausführenden Ergänzung finden müssen, und wenn endlich bei mehreren Räumen für einen bestimmten Wärmebedarf die Anlage zufriedenstellend arbeitet, so ist für jeden anderen Wärmebedarf die Rohrvertheilung als unrichtig anzusehen.

Es sollte also immer — wie bereits gesagt — dahin gestrebt werden, jedem Raume seine gesonderte Anlage zu geben, da alsdann alle Schwierigkeiten der Berechnung und die Ungleichheiten des Effekts in Wegfall kommen.

Digitized by Google

B) Anwendung der Theorie.

Fall 1. Beheizung eines einzelnen Raumes.

Für den Kostenanschlag genügt es jederzeit, lediglich die Rohrlängen nach Gl. 165 und 166 zu berechnen, also zu setzen

die Rohrlänge der Feuerspirale:

$$l_1 = 0{,}002\, W,$$

die Gesammtlänge des Wärme abgebenden Rohrs:

$$l_2 = \frac{10\, W}{k\left(\frac{t' + t''}{2} - t_z\right)}.$$

Die Länge des Leitungsrohrs des Wassers geht aus der Anordnung der Anlage hervor. Man wähle die Temperaturen im Steige- und Fallrohre nicht zu nahe liegend, also t' etwa 150^0 und $t'' = 80^0$ oder $t' = 130^0$ und $t'' = 60^0$.

Auch für die Ausführung kann dieselbe Rechnung beibehalten werden, sofern eine höchste zulässige Temperatur im Steigerohre nicht vorgesehen ist. Ist dies jedoch der Fall, so muss Gleichheit zwischen der erforderlichen Geschwindigkeit (Gl. 167):

$$v = \frac{W}{1400\,(t' - t'')}$$

und der erreichbaren Geschwindigkeit (Gl. 168):

$$v = 0{,}001384 \sqrt{\frac{h\,(t'^2 - t''^2)}{\varrho L + 0{,}023\,\Sigma\zeta}}$$

herrschen. Findet Gleichheit nach Einsetzung des angenommenen t' und t'' und des danach berechneten L nicht statt, so muss für t'' ein anderer Werth eingeführt und die ganze Rechnung wiederholt werden.

Sind mehrere gekuppelte Systeme anzuwenden, so mache man dieselben gleich lang; alsdann ist nur ein System zu berechnen unter Berücksichtigung des auf dasselbe entfallenden Antheils an der Wärmemenge W. Die gesammte Rohrlänge eines Systems soll möglichst nicht über 150—160 m, besser darunter betragen.

Fall 2. Beheizung mehrerer in demselben Stockwerke liegender Räume (s. Fig. 55); für die niedrigste Aussentemperatur ist eine höchste nicht zu überschreitende Wassertemperatur vorgeschrieben.

a) Bestimmung der Gesammtlänge des Heizsystems für die niedrigste Aussentemperatur. Die Rechnungsweise bleibt dieselbe wie bei Fall 1, so dass auf diesen verwiesen werden muss.

Digitized by Google

b) Vertheilung der Rohrlängen auf die einzelnen Räume. Die Bemessung der einzelnen Rohrlängen in den Räumen hat nach den in den einzelnen Räumen erforderlichen Wärmemengen zu erfolgen. Diese Wärmemengen sind je nach der Aussentemperatur verschieden gross, und da eine Regelung der Wärme-Abgabe, wie bei der Warmwasserheizung, nicht möglich ist, so folgt, dass, wie bereits erwähnt, nur für eine einzige Aussentemperatur eine der geforderten Temperatur

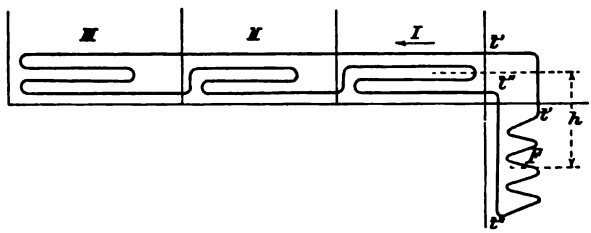


Fig. 55.

entsprechende Wärmevertheilung in verschiedenen von einem Systeme beheizten Räumen verlangt werden kann und zweckmässig die Vertheilung des Rohres für den Wärmebedarf bei einer der winterlichen Durchschnittstemperatur nahe liegenden Temperatur vorgenommen wird. Für eine derartige Vertheilung ist es nöthig, die Temperaturen des Wassers im Steige- und Fallrohre zu kennen, unter denen die erforderliche Geschwindigkeit gleich der erreichbaren wird. Bedeutet also:

W_m die stündliche durch Transmission der Wände u. s. w. verloren gehende Wärmemenge bei mittlerer Wintertemperatur,

v_m die erforderliche bezw. erreichbare sekundliche Geschwindigkeit des Wassers in m,

t_m' die Temperatur des Wassers im Steigerohre bei der Geschwindigkeit v_m,

t_m'' die Temperatur des Wassers im Fallrohre bei der Geschwindigkeit v_m,

k_m den der mittleren Wassertemperatur $\frac{t_m' + t_m''}{2} - t_s$ entsprechenden Transmissionskoefficienten, entnommen aus der Tabelle 13, II,

so müssen selbstverständlich wieder und unter Beibehaltung der für die niedrigste Aussentemperatur berechneten Rohrlänge l_s entsprechend den Gl. 166, 167 und 168 die Ausdrücke gelten:

$$l_s = \frac{10\, W_m}{k_m \left(\frac{t_m' + t_m''}{2} - t_s \right)}, \qquad (171)$$

Digitized by Google

$$v_m = \frac{W_m}{1400\,(t_m' - t_m'')}, \tag{172}$$

$$v_m = 0{,}001384 \sqrt{\frac{h\,(t_m'^2 - t_m''^2)}{\varrho_m L + 0{,}023\,\Sigma\zeta}}. \tag{173}$$

Aus Gl. 173 folgt:

$$\frac{v_m^2\,(\varrho_m L + 0{,}023\,\Sigma\zeta)}{0{,}001384^2\,h} = t_m'^2 - t_m''^2,$$

aus Gl. 172:

$$t_m' - t_m'' = \frac{W_m}{1400\,v_m}.$$

Diesen Werth von $t_m' - t_m''$ in die vorhergehende Gleichung eingesetzt, ergiebt nach einer kleinen Umrechnung:

$$\frac{v_m^2\,(\varrho_m L + 0{,}023\,\Sigma\zeta)\,1400\,v_m}{0{,}001384^2\,h\,W_m} = t_m' + t_m''.$$

Da aus Gl. 172 weiter folgt:

$$t_m'' = t_m' - \frac{W_m}{1400\,v_m},$$

so ergiebt sich nach Einsetzung in den vorhergehenden Ausdruck:

$$t_m' = \frac{v_m^3\,(\varrho_m L + 0{,}023\,\Sigma\zeta)\,1400}{2 \cdot 0{,}001384^2\,h\,W_m} + \frac{W_m}{2 \cdot 1400\,v_m}. \tag{174}$$

Setzt man zur Abkürzung:

$$\frac{1400\,L}{2 \cdot 0{,}001384^2\,h\,W_m} = \frac{365\,450\,000\,L}{h\,W_m} = A, \tag{175}$$

$$\frac{1400 \cdot 0{,}023\,\Sigma\zeta}{2 \cdot 0{,}001384^2\,h\,W_m} = \frac{8\,405\,350\,\Sigma\zeta}{h\,W_m} = B, \tag{176}$$

$$\frac{W_m}{2 \cdot 1400} = C, \tag{177}$$

so ist somit:

$$t_m' = v_m^3\,(A\varrho_m + B) + \frac{C}{v_m} \quad \text{und} \tag{178}$$

$$t_m'' = v_m^3\,(A\varrho_m + B) - \frac{C}{v_m}. \tag{179}$$

t_m' und t_m'' müssen nun aber so gross sein, dass selbstverständlich auch der Gl. 171 Genüge geschieht. Es ist dies der Fall, wenn:

$$k_m = \frac{10\,W_m}{l_3\left(\frac{t_m' + t_m''}{2} - t_i\right)} \tag{180}$$

ist.

Digitized by Google

Zur Lösung der Gleichungen ist nun v_m schätzungsweise und ϱ_m dementsprechend aus Tabelle 15 abzulesen. v_m ist als richtig gewählt zu betrachten, wenn die vorstehende Gl. 180 Erfüllung findet.

Da die Konstanten A, B und C nur einmal bestimmt zu werden brauchen, so ist der Zeitverlust auch bei nöthig werdender wiederholter Rechnung infolge einer erforderlichen anderen Wahl von v_m kein bedeutender.

Die Vertheilung des Rohres hat nun mittels Rechnung nach der Gleichung für die Einstromheizfläche:

$$l_s = \frac{10\,W_m}{k_{m_1}(t_m' - t_m'')}\,ln\,\frac{t_m' - t_s}{t_m'' - t_s} = \frac{23\,W_m}{k_{m_1}(t_m' - t_m'')}\,\log\,\frac{t_m' - t_s}{t_m'' - t_s} \quad (181)$$

zu erfolgen.

Der Koefficient k_{m_1} ist nicht genau übereinstimmend mit dem aus der Tabelle 13, II zu entnehmenden k_m, daher aus der vorstehenden und der Gl. 171:

$$l_s = \frac{10\,W_m}{k_m\left(\frac{t_m' + t_m''}{2} - t_s\right)}$$

zu berechnen. Man erhält aus denselben:

$$k_{m_1} = \frac{2{,}3\,k_m\left(\frac{t_m' + t_m''}{2} - t_s\right)\log\frac{t_m' - t_s}{t_m'' - t_s}}{t_m' - t_s}. \quad (182)$$

Es ist ohne Weiteres einleuchtend und geht auch aus Gl. 167:

$$v = \frac{W}{1400\,(t_m' - t_m'')}$$

hervor, dass die abgegebene Wärmemenge einer Rohrstrecke und die Differenz zwischen der Eintritts- und Austrittstemperatur des Wassers proportional sein müssen, d. h. also, dass, wenn eine Rohrstrecke des Systems $\frac{W}{n}$ Wärme abgiebt, die Differenz der genannten Temperaturen auch den $n$ten Theil von $t_m' - t_m''$ betragen muss. Es ist also in Gl. 181 die Grösse $\frac{W_m}{t_m' - t_m''}$ und somit auch

$$\frac{23\,W_m}{k_{m_1}(t_m' - t_m'')} = D \quad (183)$$

eine Konstante, die für jede Strecke des Systems Geltung hat.

Für die Rohrvertheilung sind nun entweder zum Theil die Rohrlängen oder ausschliesslich die erforderliche Wärme-Abgabe bekannt. Im ersten Falle, der stattfindet, wenn ein bestimmter Theil des Rohres auf dem Hin- oder Rückwege des Wassers in den Räumen

Digitized by Google

angeordnet werden soll, z. B. in Fig. 55 in Raum *I* und *II* beim Hingange, ist die Wärme-Abgabe dieser Rohrstrecken zu berechnen, im zweiten Falle die Rohrlängen.

Ist die Länge l als erste Strecke der ganzen Rohrleitung, in die das Wasser mit der Temperatur t_m' eintritt, gegeben, so ist die übrig bleibende Rohrlänge $l_g - l$. Diese muss sein:

$$l_g - l = D \log \frac{(t_m' - \vartheta') - t_z}{t_m' - t_z}, \qquad (184)$$

wenn $t_m' - \vartheta'$ die Austrittstemperatur aus der Strecke l bezw. die Eintrittstemperatur in die übrig bleibende Strecke $l_g - l$ bedeutet. Aus dieser Gleichung lässt sich $t_m' - \vartheta'$ berechnen.

Die von der Strecke l abgegebene Wärmemenge dagegen ist:

$$W = W_m - \frac{W_m (\vartheta' - t_m'')}{t_m' - t_m''}. \qquad (185)$$

Sind dagegen der Wärmebedarf und die Ein- und Austrittstemperatur des Wassers bekannt, so ist die Länge der Rohrleitung aus der Gleichung:

$$l = D \log \frac{\vartheta' - t_z}{\vartheta'' - t_z} \qquad (186)$$

zu berechnen, sofern ϑ' bezw. ϑ'' die Eintritts- bezw. Austrittstemperatur des Wassers bedeutet.

Vielfach wird es vorkommen, dass beim Montiren einer Anlage auf dem Bau noch Aenderungen der Rohrführung vorgenommen werden sollen. Um einer alsdann erforderlichen Umrechnung zu entgehen, kann man den ganzen sich nicht ändernden Verlauf der Wärme-Abgabe des gesammten Rohres l_g von Haus aus graphisch auftragen, man hat nur nöthig, die gesammte Wärmemenge W_m und die Temperaturdifferenz $t_m' - t_m''$ in n gleiche Theile zu theilen, für die zusammengehörigen Grössen die Rohrlänge zu berechnen, diese dann als Ordinaten eines rechtwinkeligen Koordinatensystems, dagegen die Wärmemenge als Abscissen aufzutragen.*) Durch die Verbindung der Schnittpunkte der zusammengehörigen Ordinaten und Abscissen ergiebt sich als Schaulinie der Verlauf der Wärme-Abgabe der ganzen Rohrlänge l_g. Setzt man dann als Konstante:

$$\log (t_m'' - t_z) = E, \qquad (187)$$

so ist die Gleichung für Berechnung der Rohrlängen für die einzelnen Abschnitte der Wärmemenge:

$$l = D \left\{ \log (\vartheta' - t_z) - E \right\}, \qquad (188)$$

wenn ϑ' allgemein die Eintrittstemperatur des Wassers bedeutet.

*) S. a. Einbeck, Theorie der Heisswasserheizung, Stuttgart 1887.

Digitized by Google

Mit Hilfe dieser für jedes System ohne nennenswerthen Zeitaufwand aufzuzeichnenden Schaulinie lässt sich somit jede beliebige Vertheilung der Rohrlänge selbst noch während des Montirens der Anlage annehmen.

Die Anwendung der Rechnung, sowie das graphische Verfahren ergiebt das Beispiel für Beheizung von drei neben einander liegenden Räumen (s. später).

Fall 3. *Beheizung mehrerer in demselben Stockwerke liegender Räume; für die niedrigste Aussentemperatur ist eine höchste nicht zu überschreitende Wassertemperatur nicht vorgeschrieben (vereinfachte Rechnung).*

a) Bestimmung der Gesammtrohrlänge des Heizsystems. In diesem Falle kann man von der Bestimmung der Rohrlänge für die niedrigste Aussentemperatur Abstand nehmen und dieselbe nur für die mittlere Aussentemperatur (etwa 0^0) anstellen, sofern man für diese die mittlere Wassertemperatur entsprechend niedrig annimmt. Man wird meist zufriedenstellende Ergebnisse erzielen, wenn man die höchste Wassertemperatur zu $90—100^0$, die niedrigste zu $50—60^0$ in Rechnung stellt. Eine gewisse Rechenschaft, dass man bei der niedrigsten Aussentemperatur die Wassertemperatur nicht über Gebühr zu steigern hat, erlangt man, wenn man die mit den angegebenen Temperaturen berechnete Rohrlänge mit derjenigen vergleicht, die man für die niedrigste Aussentemperatur erhalten würde, wenn man eine durchschnittliche Wärme-Abgabe von 100 *WE* auf das laufende Meter in Ansatz bringt. Erforderlichenfalls kann man hiernach die angenommenen Temperaturen korrigiren.

Gelten wieder die gleichen Bezeichnungen für die mittlere Wintertemperatur wie in Fall 2 (S. 264), so hat man genau wie in Fall 1 zunächst für die niedrigste Aussentemperatur l_1, alsdann für die mittlere Aussentemperatur mit Hilfe der Gl. 171:

$$l_s = \frac{W_m}{k_m \left(\frac{t_m' + t_m''}{2} - t_s \right)},$$

alsdann die erforderliche Geschwindigkeit mit Hilfe der Gl. 172:

$$v_m = \frac{W_m}{1400 \, (t_m' - t_m'')},$$

und endlich die erreichbare Geschwindigkeit mit Hilfe der Gl. 173:

$$v_m = 0{,}001384 \sqrt{\frac{h \, (t_m'^2 - t_m''^2)}{\varrho_m L + 0{,}023 \, \Sigma \zeta}}$$

zu bestimmen. Wird die erforderliche Geschwindigkeit hierbei nicht

Digitized by Google

gleich der erreichbaren, so sind die Annahmen von t_m' bezw. t_m'' so lange zu ändern, bis Gleichheit erzielt wird.

b) Vertheilung der Rohrlänge auf die einzelnen Räume. Die Vertheilung des Rohres erfolgt genau wie in Fall 2, b durch Rechnung oder mit Hilfe graphischer Darstellung des Verlaufs der Wärme-Abgabe.

Bei Berechnung der Anlage nach Fall 3 erspart man somit die umständliche Ermittelung von t_m' und t_m'' aus der für die niedrigste Aussentemperatur berechneten Rohrlänge l_3.

***Fall 4.** Beheizung mehrerer in verschiedenen Stockwerken liegender Räume; für die niedrigste Aussentemperatur ist eine höchste nicht zu überschreitende Wassertemperatur vorgeschrieben.*

a) Bestimmung der Gesammtrohrlänge des Heizsystems für die niedrigste Aussentemperatur. Sofern es nicht darauf ankommt, die geringste erforderliche Rohrlänge zu erlangen, so kann zur Bestimmung der Rohrlängen l_1 und l_3 (l_2 geht aus der Anordnung hervor) genau wie bei Fall 1 verfahren werden, sobald die Temperaturen t' und t'' nicht zu nahe liegend (also z. B. 150° und 80°, oder 130° und 60°) angenommen worden sind.

Bei gewünschter genauer Berechnung (die jederzeit ein geringeres Längenmafs ergeben wird), muss ein ähnliches, nur umständlicheres Verfahren wie bei Fall 1 für die Ausführung angegeben, Platz greifen.

Nach Massgabe der Gleichung für die erforderliche Geschwindigkeit (Gl. 167) muss sein für

Fig. 56:

$$t_1 - t' = \frac{W_1}{1400\,v}, \quad t_2 - t_1 = \frac{W_2}{1400\,v}, \quad t' - t_2 = \frac{W_3}{1400\,v}$$

Fig. 57:

$$t' - t_1 = \frac{W_1}{1400\,v}, \quad t_1 - t_2 = \frac{W_2}{1400\,v}, \quad \ldots\ t_5 - t'' = \frac{W_6}{1400\,v}.$$

Aus diesen Gleichungen folgt für

Fig. 56:

$$t_2 = t' - \frac{W_3}{1400\,v}, \quad t_1 = t_2 - \frac{W_2}{1400\,v}, \quad t'' = t_1 - \frac{W_1}{1400\,v}, \tag{189}$$

Fig. 57:

$$t_1 = t' - \frac{W_1}{1400\,v}, \quad t_2 = t_1 - \frac{W_2}{1400\,v}, \quad \ldots\ t'' = t_5 - \frac{W_6}{1400\,v}. \tag{190}$$

In dem Ausdrucke für die erreichbare Geschwindigkeit (Gl. 168)

Digitized by Google

ist, was eine besondere Entwickelung unnöthig macht, einzusetzen $h(t'^2 - t''^2)$, bei der Anordnung nach

Fig. 56:

$$h_1(t'^2 - t''^2) + (h_2 - h_1)(t'^2 - t_1^2) + (h_3 - h_2)(t'^2 - t_2^2), \quad (191)$$

Fig. 57:

$$h_1 t'^2 + (h_2 - h_1) t_1^2 + (h_3 - h_2) t_2^2 - (h_4 - h_5) t_4^2 - (h_5 - h_6) t_5^2 - h_6 t''^2, \quad (192)$$

oder wenn $h_1 = h_6$, $h_2 = h_5$ und $h_3 = h_4$ ist:

$$h_1(t'^2 - t''^2) + (h_2 - h_1)(t_1^2 - t_5^2) + (h_3 - h_2)(t_2^2 - t_4^2). \quad (193)$$

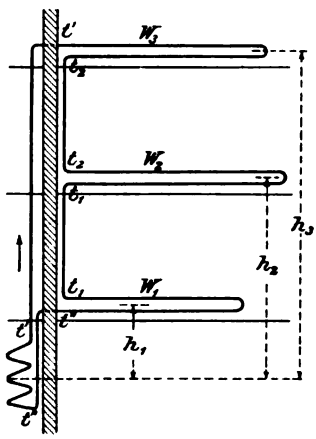


Fig. 56.

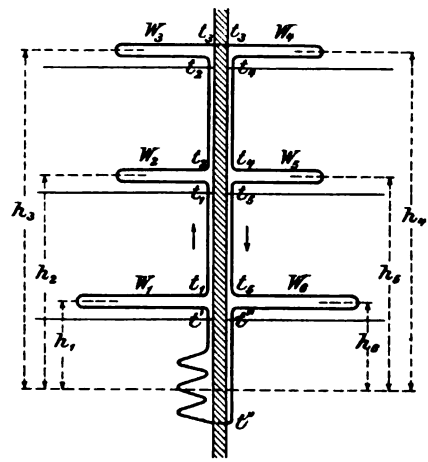


Fig. 57.

Für die Berechnung nehme man die höchste zulässige Temperatur des Wassers im Steigerohre t', sowie schätzungsweise die Geschwindigkeit v an und berechne nach den obigen Gleichungen (189 bezw. 190) sowohl t'' als t_1, t_2 u. s. f. Alsdann bestimme man die Ausdrücke 191 bezw. 192, sowie wie früher die Rohrlängen l_1, l_2 und l_3, d. h. l_s unter Benutzung des angenommenen t' und berechneten t'', und alsdann gemäss Gl. 168 bezw. 170 die erreichbare Geschwindigkeit. Ist dieselbe grösser als die angenommene erforderliche, so ist die Wärmerohrlänge l_s zu gross, umgekehrt zu klein; die Rechnung muss eventuell unter anderer Annahme von v wiederholt werden.

b) Vertheilung der Rohrlänge auf die einzelnen Räume. Die Vertheilung ist wieder für den mittleren winterlichen Wärmebedarf anzustellen. Zunächst sind dann wieder die Temperaturen des Wassers im Steige- und Fallrohre zu bestimmen.

Man nimmt hierfür schätzungsweise die erforderliche Temperatur des Wassers im Steigerohre, ebenso die Geschwindigkeit des Wassers an, bestimmt hiernach die Ein- und Austrittstemperaturen des Wassers

Digitized by Google

für die einzelnen Räume und berechnet mit Hilfe der nun bekannten Wassertemperatur im Fallrohre nach Gl. 171 die Wärmerohrlänge, die der für die niedrigste Aussentemperatur berechneten Rohrlänge l_s gleich kommen muss. Ist das nicht der Fall, so sind alle Temperaturen um eine entsprechende Anzahl Wärmegrade zu erhöhen oder zu vermindern. Hierauf sind die Ausdrücke 191 bezw. 192 auszurechnen und alsdann unter Einsetzung derselben in die Gleichung für die erreichbare Geschwindigkeit (Gl. 173) letztere selbst zu bestimmen. Dieselbe muss der gewählten erforderlichen gleich sein, ist es nicht der Fall, so ist unter anderer Annahme der Geschwindigkeit die gesammte Rechnung zu wiederholen.

Sind die Temperaturen endgültig festgestellt, so erfolgt die Berechnung des in einem jeden Raume zu legenden Wärmerohres.

Es gilt für dieselbe wieder wie in Fall 3 Gl. 181:

$$l_s = \frac{23\,W_m}{k_{m_1}(t_m' - t_m'')} \log \frac{t_m' - t_z}{t_m'' - t_z},$$

sowie Gl. 171:

$$l_s = \frac{10\,W_m}{k_m\left(\frac{t_m' + t_m''}{2} - t_z\right)},$$

woraus wieder folgt die Gl. 182:

$$k_{m_1} = \frac{2{,}3\,k_m\left(\frac{t_m' + t_m''}{2} - t_z\right) \log \frac{t_m' - t_z}{t_m'' - t_z}}{t_m' - t_m''}.$$

Da die Ein- und Austrittstemperaturen des Wassers für jeden Raum bekannt sind, so lässt sich alsdann mit Hilfe der Gleichung:

$$l = \frac{23\,W_m}{k_{m_1}(t_m' - t_m'')} \log \frac{\vartheta' - t_z}{\vartheta'' - t_z} = D \log \frac{\vartheta' - t_z}{\vartheta'' - t_z} \qquad (194)$$

für jeden Raum die zugehörige Rohrlänge berechnen, sofern ϑ' bezw. ϑ'' die Ein- bezw. Austrittstemperatur der betreffenden Rohrstrecke bedeutet.

Die ganze Berechnung ist eine noch umständlichere, als wenn ein System nur für ein Stockwerk bestimmt wird — es empfiehlt sich daher, bei mehreren neben oder über einander liegenden Räumen die Systeme nach den einzelnen Stockwerken zu theilen und gemäss der in Fall 3 angegebenen Berechnung zu verfahren.

Liegen in den einzelnen Stockwerken auch noch Räume neben einander, die zu heizen sind, so ändert sich die Berechnung sinngemäss in nichts, nur dass für die neben einander liegenden Räume ebenfalls mit Hilfe der Gl. 186 die einzelnen Rohrlängen, oder bei gegebenem l (s. Fall 3) die Temperaturen ϑ'' zu berechnen sind.

Digitized by Google

***Fall 5.** Beheizung mehrerer in verschiedenen Stockwerken liegender Räume; für die niedrigste Aussentemperatur ist eine höchste nicht zu überschreitende Wassertemperatur nicht vorgeschrieben (vereinfachte Rechnung).*

Die Berechnung bleibt genau dieselbe wie in Fall 4, nur dass für Bestimmung des Wärmerohrs l_2 der Wärmebedarf bei der mittleren Wintertemperatur (etwa 0°) in Ansatz zu bringen und für t_m' etwa 90—100°, für t_m'' etwa 50—60° zu nehmen ist. Man erspart somit die umständliche Ermittelung von t_m' und t_m'' aus der für die niedrigste Aussentemperatur berechneten Rohrlänge l_2.

VII. Beispiele für Berechnung einer Heisswasserheizung.

***Fall 1.** Beheizung eines einzelnen Raumes.*

Aufgabe. Ein Saal, 10 m lang, 8 m breit, ist durch Heisswasserheizung zu erwärmen. Derselbe transmittirt bei −20° Aussentemperatur und +20° Innentemperatur stündlich 9600 *WE*. Die Wärmeröhren sollen an den Wänden herumgeführt werden. Die höchste Temperatur des Wassers im Steigerohre darf 150° nicht überschreiten. Die Entfernung der Mittelebene der Feuerschlange von der Mittelebene der Wärmerohre betrage 4 m.

Lösung der Aufgabe. Die gesammte Länge der Wände, an welche die Wärmeröhren gelegt werden können, möge 30 m betragen, der Bedarf an Wärmerohr wird, da man im Durchschnitte auf ein Meter Rohr eine Wärme-Abgabe von 100 *WE* rechnen kann, ungefähr 100 m ausmachen, so dass 4 Röhren über einander liegen müssen.

Die Länge des von den Feuergasen umspülten Rohres kann nach Gl. 165 gesetzt werden:

$$l_1 = 0{,}002 \cdot W = 0{,}002 \cdot 9600 = 19{,}2 \sim 19 \text{ m}.$$

Die Länge des vor Wärme-Abgabe zu schützenden Leitungsrohres sei gemäss der Anordnung:

$$l_2 = 16 \text{ m}.$$

Die Länge des Wärmerohres beträgt nach Gl. 116, wenn, der Aufgabe entsprechend, $t' = 150°$, $t_z = 20°$ gesetzt und t'' schätzungsweise zu 80° angenommen wird, da sich aus Tabelle 13, II für $\frac{t'+t''}{2} - t_z = \frac{150+80}{2} - 20 = 95°$ das k zu 11,5 ergiebt:

$$l_3 = \frac{10 \cdot 9600}{11{,}5\left(\frac{150+80}{2} - 20\right)} \sim 88 \text{ m}.$$

Die Länge des gesammten zu verwendenden Rohres beträgt somit:

$$L = l_1 + l_2 + l_3 = 123 \text{ m}.$$

Kommt es auf Einhaltung der Temperaturen $t' = 150°$ und $t'' = 80°$ bei der niedrigsten Aussentemperatur nicht an, so kann die Rechnung hiermit ihr Bewenden haben, andernfalls ist die folgende Rechnung noch anzustellen.

Es ist gemäss Gl. 167 die erforderliche Geschwindigkeit:

$$v = \frac{9600}{1400\,(150 - 80)} = 0{,}098 \text{ m}.$$

Digitized by Google

Dieser Geschwindigkeit entspricht nach Tabelle 15 ein Reibungskoefficient $\varrho = 0{,}0447$. Werden alle Bogen in der Rohrleitung so gross gemacht, dass $\Sigma\zeta = 0$ gesetzt werden kann, so ergiebt sich gemäss Gl. 170 die erreichbare Geschwindigkeit:

$$v = 0{,}001384 \sqrt{\frac{4\,(150^2 - 80^2)}{0{,}0447 \cdot 123}} = 0{,}150 \text{ m}.$$

Diese erreichbare Geschwindigkeit ist grösser als die erforderliche, es wird somit die nöthige Wärme-Abgabe von 9600 *WE* schon bei einer kleineren Temperaturdifferenz als 150 — 80 erzielt. Will man an Rohrlänge sparen, so hat man t'' höher anzunehmen, sieht man auf ökonomischen Betrieb, so hat man t' möglichst herunter zu setzen.

Wählt man $t' = 145^0$, $t'' = 90^0$, so ergiebt sich, da für $\frac{145 + 90}{2} - 20 = 97{,}5$ das k (nach Tabelle 13, II) $= 11{,}5$ zu setzen ist:

$$l_3 = \frac{10 \cdot 9600}{11{,}5\left(\frac{145 + 90}{2} - 20\right)} \sim 86 \text{ m}.$$

Es ist dann weiter:

$L = 121$ m,

die erforderliche Geschwindigkeit: $v = \frac{9600}{1400(145 - 90)} = 0{,}125$ m,

die erreichbare Geschwindigkeit: $v = 0{,}001384 \sqrt{\frac{4\,(145^2 - 90^2)}{0{,}0412 \cdot 121}} = 0{,}141$ m.

Da die erreichbare Geschwindigkeit noch grösser als die erforderliche ist, so soll $t' = 145^0$ beibehalten, dagegen $t'' = 95^0$ gesetzt werden.

Alsdann ergiebt sich, da für $\frac{145 + 95}{2} - 20 = 100^0$ das k (nach Tabelle 13, II) zu 11,5 anzunehmen ist:

$$l_3 = 84 \text{ m und } L = 119 \text{ m},$$

die erforderliche Geschwindigkeit: $v = 0{,}137$ m,
die erreichbare Geschwindigkeit: $v = 0{,}139$ m,

es herrscht somit nahezu die für die billigste Ausführung anzustrebende Uebereinstimmung.

Fall 2. *Beheizung von 3 neben einander liegenden Räumen; die höchste zulässige Wassertemperatur ist vorgeschrieben.*

Aufgabe. Die 3 neben einander liegenden Räume transmittiren bei -20^0 Aussentemperatur und $+20^0$ Innentemperatur stündlich (wie im vorigen Beispiele) 9600 *WE*. Es sollen an den Wänden entlang 4—6 Röhren über einander gelegt werden, die Entfernung der Mittelebene der Feuerschlange von der Mittelebene der Wärmeröhren beträgt wieder 4 m, die höchste zulässige Wassertemperatur 150^0.

Lösung der Aufgabe.

1. Bestimmung der Gesammtlänge des Heizsystems für die niedrigste Aussentemperatur.

Da für die Berechnung des Gesammtrohres alle Bedingungen dieselben sind wie im vorigen Beispiele, so bleibt diese auch dieselbe. Für die Ausführung tritt

Digitized by Google

nur noch die Vertheilung des Rohres in den einzelnen Räumen hinzu, daher nur diese noch Erledigung zu finden hat. Als geringste Rohrlängen waren im vorigen Beispiele gefunden worden: $l_1 = 19$ m, $l_2 = 16$, $l_3 = 84$ m, somit $L = 119$ m.

2. Vertheilung der Rohrlängen auf die einzelnen Räume für eine mittlere Aussentemperatur.

Die mittlere Aussentemperatur werde zu 0° angenommen und die stündliche Transmission der 3 Räume zu 4800 *WE*.

a) Bestimmung der Temperaturen des Wassers im Steige- und Fallrohre bei der mittleren Aussentemperatur. Für die Bestimmung der Temperaturen sind die Gleichungen 178, 179 und 180 zu benutzen, dieselben lauten:

$$t_m' = v_m^3 (A \varrho_m + B) + \frac{C}{v_m},$$

$$t_m'' = v_m^3 (A \varrho_m + B) - \frac{C}{v_m},$$

$$k_m = \frac{10 W_m}{l_3 \left(\frac{t_m' + t_m''}{2} - t_z \right)}.$$

Zunächst sind die Konstanten A, B und C zu bestimmen. Es ist nach Gl. 175. da $L = 119$ m, $h = 4$ m, $W_m = 4800$ *WE* beträgt:

$$A = \frac{365\,450\,000 \cdot 119}{4 \cdot 4800} = 2265029.$$

B kommt in Fortfall, sofern, was angenommen werden soll, die Bogen in der Rohrleitung so gross gemacht werden, dass $\Sigma \zeta = 0$ gesetzt werden kann.

Nach Gl. 177 ergiebt sich die Konstante:

$$C = \frac{4800}{2 \cdot 1400} = 1{,}714.$$

Zur Lösung der obigen Gleichungen ist nun probeweise v_m anzunehmen, dasselbe ist als richtig gewählt anzusehen, wenn den mit Hilfe desselben berechneten Werthen von t_m' und t_m'' das k_{m_1} nach Tabelle 13, II entspricht. Wählt man probeweise $v_m = 0{,}09$ m, so ist ϱ_m (nach Tabelle 15) $= 0{,}0460$, somit:

$$t_m' = 0{,}09^3 \cdot 2265029 \cdot 0{,}0460 + \frac{1{,}714}{0{,}09} = 94{,}8°,$$

$$t_m'' = 0{,}09^3 \cdot 2265029 \cdot 0{,}0460 - \frac{1{,}714}{0{,}09} = 56{,}8°.$$

Aus Tabelle 13, II ergiebt sich für $\frac{98{,}8 + 56{,}8}{2} - 20 = 76 - 20$ ein k_m von $\sim 10{,}8$, während nach Gl. 180:

$$k_m = \frac{10 \cdot 4800}{84\,(76 - 20)} = 10{,}2$$

sein würde. Es muss somit die Geschwindigkeit etwas kleiner gewählt werden. Nimmt man v_m zu 0,089 m an, so ist $\varrho_m = 0{,}0462$ und

$$t_m' \sim 93°,$$
$$t_m'' \sim 54°.$$

Nach Tabelle 13, II ist alsdann für $\frac{93 + 54}{2} - 20 = 74 - 20$ das $k_m = 10{,}8$, nach Gl. 180:

Digitized by Google

$$k_m = \frac{10 \cdot 4800}{84\,(74 - 20)} = 10{,}6,$$

die Werthe stimmen nun genügend überein.

b) Vertheilung der Rohrlängen auf die einzelnen Räume. Nach dem Vorstehenden sind im Ganzen 84 m zu vertheilen. Die Anordnung der Vertheilung

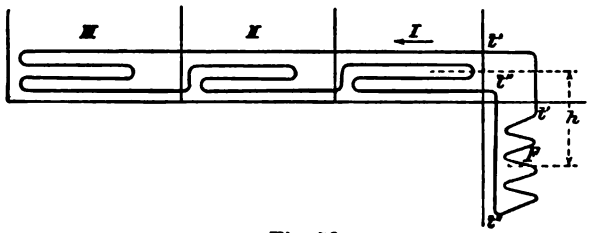


Fig. 58.

geht aus Fig. 58 hervor.

Zunächst ist der für die Rohrvertheilung massgebende Transmissionskoefficient gemäss Gl. 182 zu bestimmen. Derselbe berechnet sich zu:

$$k_{m_1} = \frac{2{,}3 \cdot 10{,}6 \left(\frac{93 + 54}{2} - 20\right) \log \frac{93 - 20}{54 - 20}}{93 - 54} = 11{,}2.$$

Da im Ganzen 4800 *WE* bei einem Temperaturabfalle des Wassers von 93° auf 54°, also um 39° abzugeben sind, so kommen auf

$$1^\circ \text{ Temperaturabfall: } \frac{4800}{39} = 123{,}1\ WE,$$

$$1 \text{ Wärmeeinheit: } \frac{39}{4800} = 0{,}008125^\circ \text{ Temperaturabfall.}$$

Es möge nun erfordern:

Raum *I*: 1600 *WE*,
„ *II*: 1400 „ ,
„ *III*: 1800 „ ,

ferner soll die erste Rohrstrecke durch Raum *I*: 6 m, die zweite durch Raum *II*: 5 m betragen.

Für die Berechnung der Rohrvertheilung kommt Gl. 181, bezw. 186, in Frage. Die Konstante D ergiebt sich, da $W_m = 4800$, $t_m' = 93$, $t_m'' = 54$, $k_{m_1} = 11{,}2$ ist, aus Gl. 183:

$$D = \frac{23 \cdot 4800}{11{,}2\,(93 - 54)} = 252{,}6.$$

Für die ersten 6 m im Raume *I* ist somit nach Gl. 186:

$$6 = 252{,}6 \left\{ \log (93 - 20) - \log (\vartheta'' - 20) \right\}.$$

Hieraus folgt:

$$1{,}8395 = \log (\vartheta'' - 20), \text{ also:}$$
$$10^{1{,}8395} = \vartheta'' - 20,$$
$$\vartheta'' = 69{,}1 + 20 = 89{,}1^\circ.$$

ϑ' ist (in diesem Falle t_m') $= 93^\circ$, somit findet auf die 6 m ein Temperaturabfall von $93 - 89{,}1 = 3{,}9^\circ$ statt. Da 1° die Wärmemenge von 123,1 *WE* ausmacht, so werden von den 6 m Rohr:

Digitized by Google

$$123{,}1 \cdot 3{,}9 = 480{,}1\ WE$$

abgegeben.

Für Raum *II* ist gegeben $l = 5$ m, die Eintrittstemperatur des Wassers beträgt $\vartheta' = 89{,}1°$, also gilt nach Gl. 186:

$$5 = 252{,}6 \left\{ \log (89{,}1 - 20) - \log (\vartheta'' - 20) \right\}.$$

Es berechnet sich alsdann in gleicher Weise wie für Raum *I*:

$$\vartheta'' = 86{,}0°.$$

Der Temperaturabfall ist:

$$89{,}1 - 86{,}0 = 3{,}1°,$$

die abgegebene Wärmemenge:

$$3{,}1 \cdot 123{,}1 = 381{,}6\ WE.$$

Raum *III* erfordert 1800 *WE*, der Temperaturabfall stellt sich somit, da auf 1 *WE* ein Abfall von 0,008125° kommt:

$$1800 \cdot 0{,}008125 = 14{,}6°.$$

Die Eintrittstemperatur des Wassers ist: 86,0°, die Austrittstemperatur somit $86{,}0 - 14{,}6 = 71{,}4°$. Es ist alsdann die Rohrlänge für Raum *III*:

$$l = 252{,}6 \log \frac{86{,}0 - 20}{71{,}4 - 20} = 27{,}4 \text{ m}.$$

Das Rohr geht nun durch Raum *II* zurück. Dieser hat zu fordern 1400 *WE*, erhalten hat er schon 381,6 *WE*, es bleiben daher noch zu liefern:

$$1400 - 381{,}6 = 1018{,}4\ WE.$$

Dieser Wärmemenge entspricht ein Temperaturabfall von:

$$1081{,}4 \cdot 0{,}008125 = 8{,}3°,$$

die Eintrittstemperatur des Wassers beträgt:

$$\vartheta' = 71{,}4°,$$

die Austrittstemperatur:

$$\vartheta'' = 71{,}4 - 8{,}3 = 63{,}1°,$$

die Rohrlänge somit:

$$l = 252{,}6 \log \frac{71{,}4 - 20}{63{,}1 - 20} = 19{,}2 \text{ m}.$$

Raum *I* endlich hat zu fordern 1600 *WE* und bereits 480,1 *WE* erhalten, der Differenz von 1119,9 *WE* entspricht ein Temperaturabfall von:

$$1119{,}9 \cdot 0{,}008125 = 9{,}1°,$$

d. h. die Endtemperatur ist $\vartheta'' = 63{,}1 - 9{,}1 = 54°$, was der Annahme $t_m'' = 54°$ entspricht und naturgemäss auch entsprechen muss, wenn die Rechnung richtig angestellt worden ist. Die Rohrlänge ist alsdann:

$$l = 252{,}6 \log \frac{63{,}1 - 20}{54 - 20} = 26{,}4 \text{ m}.$$

Die gesammte Rohrlänge ergiebt sich somit zu:

$$6 + 5 + 27{,}4 + 19{,}2 + 26{,}4 = 84 \text{ m},$$

was der Rohrlänge entspricht, die zur Vertheilung kommen sollte.

Will man jede beliebige Aenderung der Rohrvertheilung ohne besondere Rechnung, selbst während des Montirens der Anlage, vornehmen können,

Digitized by Google

so hat man eine graphische Aufzeichnung des Verlaufs der Wärme-Abgabe anzufertigen. Alsdann kommt Gl. 188 in Anwendung. Es ist alsdann in derselben gemäss Gl. 183 bezw. 187:

$$D = \frac{23 \cdot 4800}{11{,}2(93 - 54)} = 252{,}6,$$

$$E = \log (54 - 20) = 1{,}53148.$$

Theilt man die Wärmemenge $W_m = 4800$ und den Temperaturabfall $t_m' - t_m'' = 93 - 54 = 39°$ in z. B. 8 gleiche Theile, so entsprechen:

600 *WE* einem Temperaturabfalle von 4,88°.

Es ist dann nach Gl. 188 die Rohrlänge für:

4800 *WE*	—	0 *WE*	zu:	252,6	log (93 — 20)	— 1,53148	=	84,0 m,
4800 „	—	600 „	„ :	252,6	log (88,12 — 20)	— 1,53148	=	76,2 „,
4800 „	—	1200 „	„ :	252,6	log (83,24 — 20)	— 1,53148	=	68,1 „,
4800 „	—	1800 „	„ :	252,6	log (78,36 — 20)	— 1,53148	=	593 „,
4800 „	—	2400 „	„ :	252,6	log (73,48 — 20)	— 1,53148	=	49,7 „,
4800 „	—	3000 „	„ :	252,6	log (68,60 — 20)	— 1,53148	=	89,2 „,
4800 „	—	3600 „	„ :	252,6	log (63,72 — 20)	— 1,53148	=	27,6 „,
4800 „	—	4200 „	„ :	252,6	log (58,84 — 20)	— 1,53148	=	14,6 „,
4800 „	—	4800 „	„ :	252,6	log (54 — 20)	— 1,53148	=	0 „.

Für die Abgabe von 4800 *WE* sind also 84 m Rohr erforderlich, nach der ersten Abgabe von 600 *WE* nur noch 76,2 m, d. h. also 84 — 76,2 = 7,8 haben diese 600 *WE* abgegeben. Nach weiterer Abgabe von 600 *WE*, die auf die Rohrlänge 76,2 — 68,1 = 8,1 m entfallen, bleiben für das übrige Rohr noch 4800 — 1200 = = 3600 *WE* u. s. w.

Trägt man also nun, wie Fig. 59 zeigt, als Ordinaten eines rechtwinkeligen Koordinatensystems die sich ergebenden Rohrdifferenzen, als Abscissen die Wärmemengen von 600 zu 600 *WE* auf, so erhält man durch Verbindung der zusammengehörigen Schnittpunkte eine Schaulinie, aus der man für jede beliebige Rohrlänge die abgegebene Wärmemenge und umgekehrt sofort ersehen kann.

Es hat also im Nullpunkte die Rohrlänge 0 und die Wärme-Abgabe 0 zu stehen, weiter beträgt bei diesem Beispiele für die Wärme-Abgabe von:

600 *WE*	die	verwendete	Rohrlänge	84 — 76,2 =	7,8 m,
1200 „	„	„	„	84 — 68,1 =	15,9 „,
1800 „	„	„	„	84 — 59,3 =	24,7 „,
2400 „	„	„	„	84 — 49,7 =	34,3 „,
3000 „	„	„	„	84 — 39,2 =	44,8 „,
3600 „	„	„	„	84 — 27,6 =	56,4 „,
4200 „	„	„	„	84 — 14,6 =	69,4 „,
4800 „	„	„	„	84 — 0,0 =	84,0 „.

In Raum *I* waren zunächst 6 m Rohr zu legen, sucht man daher in der *Y*-Axe 6 m auf, geht horizontal bis zum Schnittpunkte mit der Schaulinie und von diesem senkrecht herunter zur *X*-Axe, so schneidet man auf dieser die abgegebene Wärmemenge 480,1 *WE* ab.

In Raum *II* waren zunächst 5 m Rohr erforderlich, 6 m sind bereits vergeben, also im Schnittpunkte der Schaulinie bei 5 + 6 = 11 m senkrecht zur *X*-Axe ge-

Digitized by Google

gangen, findet man die abgegebene Wärmemenge von 861,7 *WE*. Es entfallen somit auf Raum *II* für die 5 m Rohr: 861,7 — 480,1 = 381,6 *WE*.

Raum *III* erfordert 1800 *WE*, im Ganzen sind bereits abgegeben 861,7 *WE*, also bei Austritt des Wassers aus Raum *III* hat derselbe im Ganzen an die Luft 2661,7 *WE* übertragen. Auf der *X*-Axe diese Wärmemenge aufgesucht, im Schnitt-

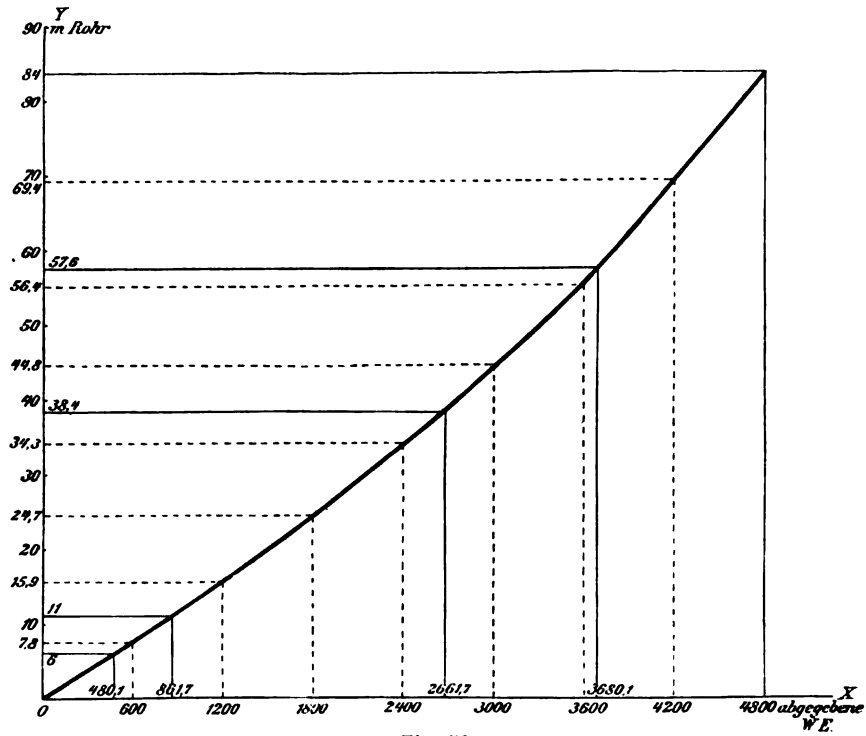


Fig. 59.

punkte mit der Schaulinie horizontal bis zur *Y*-Axe gegangen, findet man eine Rohrlänge von 38,4 m. 11 m haben bereits Raum *I* und *II* erhalten, folglich entfällt auf Raum *III*: 27,4 m.

Der Rest der Wärmemenge für Raum *II* und Raum *I* ergiebt nun in genau gleicher Weise wie für Raum *III* die weitere erforderliche Rohrlänge.

Mit Hilfe einer solchen graphischen Aufzeichnung braucht also die Rohrvertheilung erst auf dem Bau zu erfolgen und kann dieselbe dann alle Verhältnisse, die auf die Rohrvertheilung von Einfluss sind, bequem berücksichtigen.

Fall 3. *Beheizung von 3 neben einander liegenden Räumen; die höchste zulässige Wassertemperatur ist nicht vorgeschrieben.*

In diesem Falle kann man sofort von dem Wärmebedarfe bei der mittleren Wintertemperatur ausgehen. Wenn dasselbe Beispiel wie in Fall 2 Gültigkeit haben soll, so ist nach dem auf S. 268 Gesagten für t_m' etwa 100°, für t_m'' etwa 60° anzunehmen. Man erhält alsdann annähernd dieselbe Rohrlänge wie im vorigen Beispiele und hat für die genaue Festsetzung von t_m' und t_m'', sowie für die Vertheilung das gleiche Verfahren wie in Fall 2 einzuschlagen, so dass auf dieses Beispiel verwiesen werden kann.

Digitized by Google

Fall 4. *Beheizung mehrerer in verschiedenen Stockwerken liegender Räume; die höchste zulässige Temperatur ist vorgeschrieben.*

Aufgabe. 3 über einander liegende Räume sind durch Heisswasserheizung zu erwärmen. Die Entfernung der Mittelebene der Feuerschlange von den Mittelebenen der Wärmeröhren betrage für das Erdgeschoss 4 m, für den I. Stock 9 m, für den II. Stock 14 m. Die höchste Temperatur des Wassers im Steigerohre darf 150° nicht überschreiten. Die Transmission des untersten Raumes bei — 20° sei $W_1 = 3200\ WE$, des mittelsten $W_2 = 2800\ WE$, des obersten $W_3 = 3600\ WE$. Alles Uebrige wie bei Beispiel 2.

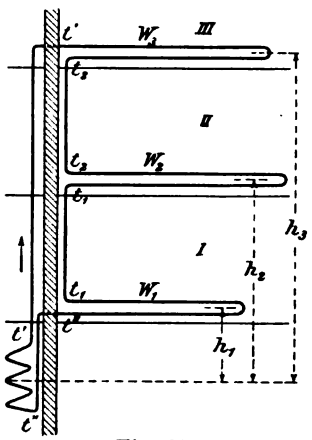


Fig. 60.

Lösung der Aufgabe. **a) Bestimmung der Gesammtrohrlänge des Heizsystems für die niedrigste Aussentemperatur.** Der Aufgabe entsprechend ist $t' \leqq 150°$.

Gewählt soll werden nach Schätzung: $t'' = 80°$, alsdann ist zunächst wie im Beispiele des Falls 1, wenn die Anordnung Fig. 60 gewählt wird und das Leitungsrohr $l_3 = 24$ m beträgt:

$$l_1 = 19\text{ m}, \quad l_2 = 24\text{ m}, \quad l_3 = 88, \quad L = 131\text{ m}.$$

Diese Rechnung würde für die Längenbestimmungen genügen, sobald es nicht darauf ankommt, die geringste erforderliche Rohrlänge nur in Anwendung zu bringen. Um die geringste erforderliche Rohrlänge zu ermitteln, muss die Berechnung der erforderlichen und erreichbaren Geschwindigkeit angestellt werden.

Es ist $h_1 = 4$ m, $h_2 = h_3 = 5$ m und, sofern wieder $\Sigma\zeta = 0$ angenommen wird, in Gl. 168 statt des Ausdrucks $h\,(t'^2 - t''^2)$ zu setzen (s. S. 270):

$$h_1\,(t'^2 - t''^2) + (h_2 - h_1)\,(t'^2 - t_1^2) + (h_3 - h_2)\,(t'^2 - t_2^2).$$

Wählt man nun probeweise $v = 0{,}2$, so ist nach Gl. 189, da $t' = 150°$ beträgt:

$$t_2 = 150 \quad - \frac{3600}{1400 \cdot 0{,}2} = 137{,}14°,$$

$$t_1 = 137{,}14 - \frac{2800}{1400 \cdot 0{,}2} = 127{,}14°,$$

$$t'' = 127{,}14 - \frac{3200}{1400 \cdot 0{,}2} = 115{,}71°,$$

und somit:

$$\begin{aligned} h_1\,(t'^2 - t''^2) &= 4\,(150^2 - 115{,}71^2) = 36445, \\ (h_2 - h_1)\,(t'^2 - t_1^2) &= 5\,(150^2 - 127{,}14^2) = 31677, \\ (h_3 - h_2)\,(t'^2 - t_2^2) &= 5\,(150^2 - 137{,}14^2) = 18463, \\ &\text{Sa. } 86585. \end{aligned}$$

Dem Mittelwerthe zwischen der Anfangs- und Endtemperatur entsprechend stellt sich alsdann die Länge des Wärmerohres, wenn k_m wieder der Tabelle 13, II entnommen wird:

$$l_3 = \frac{10 \cdot 9600}{11{,}5\left(\frac{150 + 115{,}7}{2} - 20\right)} \sim 74\text{ m},$$

somit $L = 19 + 24 + 74 = 117$ m.

Digitized by Google

Es muss nun aber auch die erreichbare Geschwindigkeit gleich der angenommenen erforderlichen von 0,2 m sein. Für $v = 0{,}2$ m ist $\varrho = 0{,}0356$ und gemäss Gl. 168 die erreichbare Geschwindigkeit:

$$v = 0{,}001384 \sqrt{\frac{86585}{0{,}0356 \cdot 117}} = 0{,}197 \text{ m}.$$

Die Annahme war somit eine genügend richtige.

Die Berechnung der Rohrlängen nur mit Hilfe der Gleichungen 165 und 166 ergab $L = 131$ m, die genaue Berechnung $L = 117$ m, es sind somit durch die letztere 14 m erspart worden.

b) Bestimmung der Temperaturen des Wassers im Steige- und Fallrohre bei mittlerer Wintertemperatur. Für die mittlere Wintertemperatur sei wie im vorigen Beispiele die erforderliche Wärmemenge für:

$$\text{Raum } I = 1600\ WE, \quad \text{Raum } II = 1400\ WE, \quad \text{Raum } III = 1800\ WE.$$

Gegeben sind die Rohrlängen $L = 117$ m und $l_3 = 74$ m (eventuell, wenn die einfachere Berechnung unter a beibehalten werden soll, $L = 131$ m, $l_3 = 88$ m). Wählt man für die höchste Temperatur im Steigerohre schätzungsweise $t_m' = 100^0$ und die Geschwindigkeit $v_m = 0{,}12$ m, so ergiebt sich gemäss der Gl. 189:

$$t_2 = 100 - \frac{1800}{1400 \cdot 0{,}12} = 89{,}3^0,$$

$$t_1 = 89{,}3 - \frac{1400}{1400 \cdot 0{,}12} = 81{,}0^0,$$

$$t_m'' = 81{,}0 - \frac{1600}{1400 \cdot 0{,}12} = 71{,}5^0$$

Ferner ergiebt sich, da für $\frac{100 + 71{,}5}{2} - 20$ nach Tabelle 13, II: $k = 11{,}1$ zu setzen ist,

$$l_3 = \frac{4800}{11{,}1\,(86 - 20)} \sim 66 \text{ m}.$$

74 m brauchen nur für die niedrigste Aussentemperatur vorhanden zu sein, folglich kann die Temperatur t_m' erniedrigt werden. Setzt man $t_m' = 93^0$, so ergiebt sich:

$$t_m'' = 65^0$$

und

$$l_3 = \frac{10 \cdot 4800}{11\left(\frac{93 + 65}{2} - 20\right)} \sim 74 \text{ m}.$$

Da 74 m anzunehmen sind, so ist die Richtigkeit der Annahme für t_m' erwiesen.

Gemäss dieser Temperatur ergiebt sich alsdann:

$$t_2 = 82^0, \quad t_1 = 74^0, \quad t_m'' = 65^0, \quad l_3 = 74 \text{ m},$$

und für den Ausdruck 191:

$$4\,(93^2 - 65^2) + 5\,(93^2 - 74^2) + 5\,(93^2 - 82^2) = 43186.$$

Die erreichbare Geschwindigkeit ermittelt sich alsdann, da für $v_m = 0{,}12$ m aus Tabelle 15: $\varrho_m = 0{,}0417$ zu setzen ist,

$$v_m = 0{,}001384 \sqrt{\frac{43186}{0{,}0417 \cdot 117}} = 0{,}13 \text{ m}.$$

Digitized by Google

Diese Geschwindigkeit ist grösser, als die angenommene von 0,12 m, es muss somit die Rechnung unter anderer Annahme nochmals wiederholt werden.

Wählt man $v_m = 0{,}13$ m und $t_m' = 92^0$, so erhält man:

$$t_2 = 82^0, \quad t_1 = 74^0, \quad t_m'' = 66^0,$$

somit für den Ausdruck 191:

$$4\,(92^2 - 66^2) + 5\,(92^2 - 74^2) + 5\,(92^2 - 82^2) = 40072,$$

und der Voraussetzung entsprechend:

$$l_2 = 74 \text{ m}, \quad v_m = 0{,}127 \text{ m}.$$

v_m kann nunmehr, ohne einen grossen Fehler zu begehen, unter Benutzung der berechneten Temperaturen für die Vertheilung des Rohres beibehalten werden.

c) Vertheilung des Rohres für die einzelnen Räume. Für die Rohrvertheilung ist zunächst mit Hilfe der Gl. 182 das k_{m_1} zu bestimmen. Dasselbe ergiebt sich, da k_m für $\frac{92+66}{2} - 20$ nach Tabelle 13, II mit 11 in Rechnung zu ziehen ist, zu:

$$k_{m_1} = \frac{2{,}3 \cdot 11 \left(\frac{92+66}{2} - 20\right) \log \frac{92-20}{66-20}}{92 - 66} = 11{,}2.$$

Unter entsprechender Berücksichtigung der berechneten Ein- und Austrittstemperaturen des Wassers für die einzelnen Räume bestimmt sich die Rohrlänge gemäss Gl. 181 für:

Raum *I* zu: $\frac{23 \cdot 4800}{11{,}2\,(92 - 66)} \log \frac{74 - 20}{66 - 20} = 26{,}4$ m,

„ *II* zu: $\frac{23 \cdot 4800}{11{,}2\,(92 - 66)} \log \frac{82 - 20}{74 - 20} = 22{,}7$ m,

„ *III* zu: $\frac{23 \cdot 4800}{11{,}2\,(92 - 66)} \log \frac{92 - 20}{82 - 20} = 24{,}6$ m,

im Ganzen also zu 73,7 $\sim$ 74 m, die zu vertheilen waren.

Dreizehntes Kapitel.

Hochdruck-Dampfheizung.

(Siehe Tafel XVII.)

I. Anwendungsgebiet der Hochdruck-Dampfheizung. Fernheizung.

Die Dampfheizung gründet sich auf die Benutzung der bei Kondensation von Dampf frei werdenden latenten Wärme.

Infolge der durch Erwärmung von Wasser über 100° innerhalb eines geschlossenen Heizkörpers zu erzielenden Dampfspannung und

Digitized by Google

infolge der ziemlich bedeutenden Wärmemengen, die bei Kondensation des Dampfes frei werden (s. Tabelle 17), ist es möglich, auf weite Entfernungen grosse Wärmemengen zu überführen und daselbst nutzbar zu machen. Die Kondensation des Dampfes kann in Heizkörpern erfolgen, welche die aufgenommene Wärme an Luft oder Wasser abgeben. Stehen im ersten Falle die Heizkörper in den zu erwärmenden Räumen selbst und erwärmen unmittelbar die Raumluft, so spricht man von „direkter Dampfheizung", wird nur den Räumen die an den Heizkörpern erwärmte Luft zugeführt, so hat man eine „Dampf-Luftheizung". Stehen dagegen mit Wasser gefüllte Heizkörper in den Räumen, so bezeichnet man die Anlage, falls das Wasser unmittelbar durch Dampf erwärmt wird, als eine „Dampf-Wasserheizung", falls das Wasser central erwärmt und nur den Heizkörpern zugeleitet wird, als eine „Dampf-Warmwasserheizung". Eine direkte Dampfheizung zur Erwärmung von Räumen wird nur in vereinzelten Fällen (Fabriken u. s. w.) aus weiter unten zu erörternden Gründen mit Hochdruckdampf gespeist, an seine Stelle tritt meist Niederdruckdampf, der durch Reduktion der Spannung erhalten wird. Bei Maschinenbetrieb findet häufig der Abdampf zu Heizzwecken Verwendung, alsdann müssen aber Einrichtungen vorhanden sein, die in selbstthätig wirkender Weise der Heizungsanlage jederzeit, erforderlichenfalls durch Zuführung von Frischdampf, die nöthige dem Wärmebedarfe entsprechende Dampfmenge sichern (s. Tafel XXII).

Die Vielseitigkeit der Wärme-Ausnutzung und Wärme-Umsetzung, die Möglichkeit des Wärme- und Krafttransports auf weite Strecken und die Beschränkung bezw. Vermeidung von Feuerstellen in bewohnten Gebäuden sichern der Hochdruck-Dampfheizung bei ausgedehnten Gebäude-Anlagen zur Zeit die erste Stelle. Damit soll nicht gesagt werden, dass eine Hochdruck-Dampfheizung in allen Fällen, in denen eine Anzahl Gebäude mit Wärme zu versorgen ist, als Fernheizung Empfehlung verdient. Der Transport der Wärme bringt jederzeit Wärmeverluste mit sich, deren Kosten durch die dargebotenen Vortheile und durch Ersparnisse auf anderer Seite aufgewogen werden müssen. Man hat zu bedenken, dass die Wärmeverluste der Hauptleitung eines Fernheizwerks bei einer höheren als der niedrigsten Aussentemperatur, für die das Werk berechnet worden ist, nahezu die gleichen bleiben, dass somit, wenn der Wärmeverlust der Hauptleitung bei niedrigster Aussentemperatur 4 % der gesammten geförderten Wärmemenge ausmacht, derselbe bei Bedarf von nur der halben Dampfmenge zur Erwärmung der Räume nahezu 8 % der gesammten geförderten Wärmemenge beträgt. Erwägungen und Berechnungen nach dieser Richtung sind daher stets vor der Ausführung einer Hochdruck-Dampfheizung anzustellen und für die Wahl derselben entscheidend.

Die Vortheile liegen in der Verwendbarkeit der Dampfwärme

Digitized by Google

ausser zum Erwärmen und Lüften der Räume auch noch zum Kochen, Waschen, Baden, Warmwasserbereiten, Desinficiren, Sterilisiren u. s. w., in der Verwendbarkeit der Dampfkraft zum Betreiben von Maschinen, Pumpen u. s. w., die Ersparnisse dagegen in der meist besseren Ausnutzung der Brennstoffe und in der Einheitlichkeit und Vereinfachung des Betriebs.

Fernheizungen gewinnen vor allen Dingen an Bedeutung, wenn mit ihnen gleichzeitig eine Anlage zur Erzeugung des elektrischen Lichtes verbunden wird, und es würde als durchaus zeitgemäss zu begrüssen sein, wenn geeigneten Falls die grossen Elektrizitäts-Gesellschaften mit ihren elektrischen Anlagen auch die Ausführung von Fernheizungen unter eigener Verwaltung in Aussicht nehmen wollten.

Der grösste Wärmebedarf der Gebäude findet beim Anheizen in den ersten Morgenstunden statt, der grösste Lichtbedarf in der Zeit des Abheizens der Gebäude, d. h. in den späteren Nachmittagsstunden. Die Wärmeverluste der Kesselanlage einer ausgedehnten Heizung werden hauptsächlich durch den ungleichen Wärmebedarf während der verschiedenen Tagesstunden hervorgerufen. Durch Verbindung mit einem Lichtwerke lässt sich ein gleichmässigerer Betrieb der Kessel erzielen, sofern bei eintretender Verminderung des Wärmebedarfs die frei werdende Kesselfläche zum Betriebe der elektrischen Maschinen — sei es zur direkten Lichterzeugung, sei es zum Laden der Akkumulatoren — Verwendung findet. Die Grösse der Akkumulatoren-Batterie ist daher von dem Gesichtspunkte aus zu bestimmen, dass täglich ein möglichst gleichmässiger Betrieb der Kessel stattfinden kann. Am besten erkennt man die zu wählenden Verhältnisse durch Auftragen von Schaulinien für den Wärmebedarf und für den Lichtbedarf der Gebäude in den verschiedenen Monaten des Jahres. Aus der Vereinigung dieser Schaulinien durch eine den Mittelwerth derselben darstellende Horizontale lassen sich die Bedingungen erkennen, denen die Akkumulatoren gerecht werden müssen.

Mit der Hochdruck-Dampfheizung als Fernheizung kann in manchen Fällen die Gasheizung mittels Generatorgases in Wettbewerb treten; der wichtigste Unterschied zwischen beiden Heizungsarten besteht darin, dass die Dampfheizung eine Centralheizung, die Gasheizung ein Heizsystem mit einem Ferntransporte des Brennstoffs, nicht der Wärme, also eine Lokalheizung ist, mithin Feuerungsanlagen in den Gebäuden selbst nicht entbehrlich macht. Gasheizung stellt sich in der Anlage billiger, da die theuren Kanäle für Aufnahme der Rohrleitungen in Wegfall kommen können, dagegen bringt sie unter Umständen Explosionsgefahr in die Gebäude. Wo auf unbedingte Sicherheit gegen Feuer und Explosion zu sehen ist, kann Gasheizung keine Verwendung finden.

Digitized by Google

II. Wahl der Spannung des Dampfes.

Da die in der Gewichtseinheit Dampf enthaltene Gesammtwärmemenge bei niedriger oder hoher Dampfspannung nahezu die gleiche ist, so soll grundsätzlich die Dampfspannung nicht höher als nöthig angenommen werden. Welche Dampfspannung ist die vortheilhafteste? Bei Heizkörpern zur direkten Erwärmung der Räume eine möglichst niedrige (0,1 Atm. und darunter), da mit der Abnahme der Spannung die Sicherheit für ein ruhiges Arbeiten der Anlage, die Annehmlichkeit der Wärme und die Regelbarkeit der Wärme-Abgabe der Heizkörper durch Ventile zunehmen; bei Heizkörpern für Dampf-Luftheizung oder zur Erwärmung von Wasser häufig eine etwas höhere (0,5—1 Atm. und darüber), da hierdurch die Heizflächen kleiner gehalten werden können und die Regelung der Temperaturen noch durch andere Mittel als durch Ventile möglich ist; bei Dampfleitungen an und für sich eine hohe, da die Anlage wesentlich billiger wird, die Wärmeverluste infolge der geringeren erforderlichen Durchmesser sich niedriger stellen, auch die Bildung von Niederschlagswasser, das zu störenden Erscheinungen verschiedener Art Veranlassung geben kann, vermindert wird. Im Wesentlichen hängt die Spannungsabnahme des Dampfes in einem Dampfrohre von den Wärmeverlusten und den Bewegungswiderständen, die Temperaturabnahme von den Wärmeverlusten ab. Sind die letzteren nicht gross genug, um der Spannungsabnahme zu entsprechen, so muss eine Ueberhitzung des Dampfes stattfinden. (S. a. S. 172.)

Abzuweichen von der Wahl hoher Dampfspannung ist in der Regel bei Leitungen innerhalb bewohnter Räume, einestheils wegen der grösseren Sicherheit gegen Undichtheiten, anderntheils wegen des Umstandes, dass die in den Heizkörpern anzustrebende niedrige Spannung zweckentsprechend an einer centralen Stelle des Gebäudes eingestellt bezw. geregelt wird. Für Leitungen bei Fernheizungen kann bei solider Ausführung die Anfangsdampfspannung unbedenklich zu 6—8 Atm. (Ueberdruck) angenommen werden; um möglichst kleine Durchmesser zu erzielen, empfiehlt es sich alsdann, für den grössten Wärmebedarf einen solchen Spannungsabfall in der Rohrleitung vorzusehen, dass am Ende der Leitung nur die in dem betreffenden Gebäude erforderliche höchste Dampfspannung erreicht wird. Ueber Erzielung plötzlicher Spannungsabfälle siehe Abschnitt VI, 2 dieses Kapitels.

III. Allgemeine Anordnung einer Hochdruck-Dampfheizung.

Aehnlich wie bei der Wasserheizung besteht eine Dampfheizung aus den Wärme aufnehmenden und Wärme abgebenden Heizflächen und aus den Leitungsröhren für Dampf und Niederschlagswasser.

Digitized by Google

Die Leitungsröhren für Dampf können niemals vor Wärme-Abgabe derartig geschützt werden (s. S. 183), dass sich nicht auch in ihnen Dampf kondensirt, also Niederschlagswasser bildet. Der Dampf hat das Bestreben, das letztere mit fortzureissen. Ist die Möglichkeit nicht vorhanden, das Wasser mit annähernd gleicher Geschwindigkeit des Dampfes fortzuführen, so entsteht Schlagen und Stossen — es ist daher als Grundsatz aufzustellen, dass die Dampfleitungsröhren mit Gefälle verlegt werden sollen.

Muss von diesem Grundsatze abgewichen werden, so ist an den Stellen, an denen der Dampf von der fallenden in die steigende Bewegung übergeht, eine Ableitung des Niederschlagswassers zu bewirken. Bei grosser horizontaler Ausdehnung macht es sich daher meist nöthig, der Dampfleitung eine sägeförmige Anordnung zu geben, d. h. die Leitung in eine Anzahl längerer mit Gefälle versehener Theilstrecken zu zerlegen und das Ende der einen mit dem Anfange der folgenden Theilstrecke durch ein kurzes senkrechtes Rohrstück zu verbinden. Aus dem tiefsten Punkte jeder Theilstrecke ist alsdann das Niederschlagswasser abzuleiten. Bei Hochführen einer Dampfleitung innerhalb eines Gebäudes ist, wenn möglich, nicht eine senkrechte, sondern eine schräge Lage der Rohrleitung anzustreben, da hierdurch dem Dampfe und dem Wasser mehr getrennte Bahnen zugewiesen werden, insofern als das Abfliessen des Niederschlagswassers alsdann mehr an der unteren Seite der Rohrleitung stattfindet.

Aus dem Gesagten geht hervor, dass bei einer direkten Hochdruck-Dampfheizung am besten der Dampf zunächst gemeinsam bis zur höchsten Stelle, alsdann von dieser in die mit Gefälle zu versehende und mit den Fallsträngen für die einzelnen Heizkörper in Verbindung stehende Vertheilungsleitung geführt wird, anstatt die Vertheilungsleitung unterhalb der Heizkörper anzuordnen und diese mit einzelnen den Dampf nach den Heizkörpern führenden Steigeröhren zu verbinden.

Die beste Anordnung der Heizkörperstränge ist daher die in Fig. 61 angegebene, bei der der Dampf eine fallende Bewegung und eine vom Niederschlagswasser getrennte Leitung erhält. Weniger gut ist die Anordnung nach Fig. 62, doch immer noch wesentlich besser als diejenige nach Fig. 63, da bei dieser, obschon Dampf und Wasser in gleicher Richtung strömen, der Dampf dem Abfliessen des Niederschlagswassers aus den Heizkörpern entgegen arbeitet; letztere Anordnung ist daher auch in der Praxis so gut wie verlassen. Am schlechtesten ist die Ausführung nach Fig. 64, da sie alle angeführten Nachtheile vereinigt.

Wie angegeben soll der Dampf — da er leichter als Luft ist — von oben in die Heizkörper eintreten, andernfalls findet ein Mischen der Luft mit dem Dampfe statt, was zu einer Verringerung der Wärme-Abgabe des Heizkörpers führt. Bei Niederdruck-Dampfheizung wird

Digitized by Google

dies allerdings mitunter angestrebt, die Gründe werden an betreffender Stelle Erörterung finden.

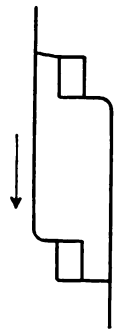


Fig. 61.

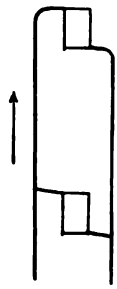


Fig. 62.

Fig. 63.

Fig. 64.

Von dem Dampfkessel ist selbstverständlich der Dampf auf kürzestem Wege den Heizkörpern zuzuführen. Um eine grössere Sicherheit des Betriebes bezüglich eintretender Undichtheiten zu besitzen, wird die Dampfvertheilungsleitung mitunter in Form eines Rundstrangs, d. h. eines in sich zurückkehrenden Rohres von gleicher Weite hergestellt, so dass der gesammte Dampf entweder von der einen oder andern Seite oder auch von beiden Seiten in die Vertheilungsleitung eingeführt werden kann. Aus ökonomischen Gründen ist diese Anordnung nicht zu empfehlen.

Alle Rohrstränge, die Wärme nicht abzugeben haben, sind vor Wärmeverlusten thunlichst zu schützen (s. S. 183); bei Anwendung von Schutzmitteln, die durch die Wärme leiden (verkohlen), empfiehlt es sich zunächst, eine Schicht eines unverbrennlichen Materials (Kieselgur etc.) aufzutragen.

Das Niederschlagswasser ist zu sammeln und womöglich mit eigenem Gefälle nach einem Gefässe zu leiten, von wo aus es als Speisewasser in die Kessel gedrückt wird.

Ein derartiges Gefäss, am besten aus Eisen (emaillirtes Gusseisen) hergestellt, erhält einen Ueberlauf, Wasserstands-Zeiger und wird mit einem beliebig zu benutzenden unmittelbaren Wasser-Zulaufe versehen.

IV. Die Dampfkessel einer Hochdruck-Dampfheizung.

1. Allgemeines.

Der Dampfverbrauch einer Heizungsanlage schwankt je nach den Tagesstunden und je nach der Aussentemperatur in weiten Grenzen. Beim täglichen Anlassen einer Heizung ist im Vergleiche zum Beharrungszustande eine bedeutend gesteigerte Dampfmenge er-

Digitized by Google

forderlich. Damit die Dampfkessel diesen Schwankungen möglichst folgen können, ist ihnen ein ausreichender Wasserinhalt zu geben. Kessel mit geringem Wasserinhalte eignen sich für Hochdruck-Dampfheizungen somit weniger als solche mit grossem Wasserinhalte.

Als Massstab der Güte einer Kesselanlage ist die Verdampfungsfähigkeit derselben anzusehen, d. h. die Fähigkeit, mit 1 kg Brennmateriale eine gewisse Anzahl kg Wasser von 0^0 in Dampf von 100^0 zu verwandeln. Eine mittelgute Anlage muss ergeben für Torf eine 3—4 fache, für Braunkohle eine 4—5 fache, für Steinkohle eine 6,5 bis 8 fache Verdampfung. Die Verdampfungsfähigkeit ist vom Lieferanten zu garantiren. Da die Gesammtwärme in 1 kg 100^0 warmen Dampfes 637 *WE* beträgt, so müssen bei 8facher Verdampfung $637 \times 8 = 5195$ *WE* aus 1 kg Brennstoff geliefert werden. Man sieht hieraus, dass die Verdampfungsfähigkeit sehr bald eine nicht zu überschreitende Grenze erreicht, da keinesfalls mehr Wärme aus dem Brennmateriale gewonnen werden kann, als beim Verbrennen nutzbar erzeugt wird.

Die Fähigkeit einer Kesselanlage, Wärme den Heizgasen zu entziehen, hängt im Wesentlichen von der Beschaffenheit der Heizfläche und von dem Unterschiede zwischen der Temperatur der Heizgase und des Kesselwassers ab. Durch Steigerung der Bewegung des Kesselwassers wird auch die Wärme-Ueberführung gesteigert. Es giebt in der Praxis verschiedene Konstruktionen, die eine Förderung der Bewegung des Kesselwassers bezwecken.

Verdampfung und Wärme-Ueberführung stehen naturgemäss in Wechselwirkung; je heisser die Heizgase sind, desto mehr Wärme wird überführt. Mit der Steigerung der Temperatur der in den Schornstein entweichenden Heizgase wächst die Wärme-Ueberführung, vermindert sich bei gleichen Verhältnissen die Verdampfungsfähigkeit. Die Steigerung der letzteren soll niemals auf Kosten der Wärme-Ueberführung stattfinden. Für den ökonomischen Betrieb ist es daher rathsam, die Heizgase mit nicht zu hoher Temperatur (s. S. 160) nach dem Schornsteine zu entlassen, durch zweckentsprechende Konstruktion der Heizflächen, unter Umständen auch durch Anwendung geeigneter Apparate, den Wasserumlauf zu fördern und dadurch die Verdampfungsfähigkeit zu steigern.

Auf Trockenheit des Dampfes bei Eintritt desselben in die Dampfleitung ist zu achten, da sonst ökonomische und andere Nachtheile entstehen. Durch lebhaften Umlauf des Wassers im Kessel, auch durch hohe Dampfspannung wächst an und für sich die Möglichkeit des Mitreissens von Kesselwasser; geeignete Konstruktionen zur Verhütung dieses Uebelstandes sind alsdann erforderlich. Vielfach, besonders bei Fernheizungsanlagen empfiehlt es sich, für eine mässige Ueberhitzung des Dampfes vor seinem Eintritte in die Rohrleitung Vorsorge zu treffen, um dadurch Sicherheit zu gewinnen, dass trotz aller Vorsichtsmassregeln etwa mitgerissenes Kesselwasser noch nach-

Digitized by Google

träglich in Dampf übergeführt wird. Als Grenze der Dampftemperatur ist im Hinblicke auf Wärmeverluste, Ausdehnung der Rohrleitung durch die Wärme u. s. w. etwa 200° anzunehmen. Zur Ueberhitzung finden zweckmässig die abziehenden Verbrennungsgase Verwendung.

Die Dampfkessel werden nur selten von Fabriken, die Heizungsanlagen auszuführen haben, gefertigt, daher soll, weil auch über den Rahmen dieses Werkes hinausgehend, hier nicht auf die Konstruktion und die verschiedenen Arten der Dampfkessel und deren Ausrüstung, sowie auf die gesetzlichen Bestimmungen, denen sie zu genügen haben (Druckprobe u. s. w.), eingegangen und muss in dieser Beziehung auf die Sonderwerke verwiesen werden.

2. Berechnung der Dampfkessel.

Die Berechnung der Kessel erfolgt nach den Gleichungen für die Stromfläche (s. S. 164 u. 180); der Transmissionskoefficient k ist infolge der durch Dampfbildung erzeugten raschen Bewegung der einzelnen Wassertheilchen grösser als bei Warmwasserheizung zu nehmen. Derselbe schwankt innerhalb weiter Grenzen, wenn besondere Einrichtungen zur Erzeugung lebhaften Umlaufs des Wassers vorgesehen werden. Da die Lieferanten von Kesseln die betreffenden Angaben zu machen und für die Einhaltung derselben aufzukommen haben, so soll hier von solchen Abstand genommen und nur für Neuanlagen, um für alle Fälle sicher zu gehen und keine zu kleinen Kessel zu erhalten, empfohlen werden, für Rauchrohr- und ähnliche Kessel eine Dampfbildung von 15—16 kg/qm (bezw. eine Wärme-Uebertragung von rund 10000 WE/qm), für Röhrenkessel eine solche von 12—13 kg/qm (bezw. eine Wärme-Uebertragung von rund 8000 WE/qm) anzunehmen.

Der Dampfkessel einer Heizungsanlage hat die grösste Wärmemenge während des Anheizens zu liefern, d. h. in der Zeit, da die Räume und die Anlage selbst in den Beharrungszustand der Wärme überzuführen sind. Für die Ueberführung der Räume in den Beharrungszustand der Erwärmung ist für die Stunde der Anheizdauer nach Früherem (s. S. 151) der erforderliche Wärmebedarf im Beharrungszustande (W), vermehrt um die Zuschläge für das Anheizen (Z) zu rechnen, für die Ueberführung der Heizungsanlage in den Beharrungszustand kommt dagegen die Erwärmung des Eisens u. s. w. in Frage. Um auch die Verluste des Mauerwerks des Kessels und sonstige der Berechnung sich entziehende andere Verluste zu decken, empfiehlt sich, die auf die angegebene Weise ermittelte Wärmemenge noch um 10% zu erhöhen. Bezeichnet also:

W_1 die gesammte (nicht stündliche) bis zum Beharrungszustande in den Räumen (vom Anlassen der Heizung, nicht vom Anheizen des Kessels ab gerechnet) erforderliche Wärmemenge, d. h. $W_1 = (W + Z)z$, wobei W die stünd-

Digitized by Google

liche durch Transmission der Räume verloren gehende Wärmemenge, Z den Zuschlag für das Anheizen (s. S. 151) bedeutet, (W_1 in dem Ausdrucke für Z auf S. 151 ist nicht mit dem vorstehenden W_1 zu verwechseln),

W_2 die Wärmemenge, die 1 qm Kessel-Heizfläche in der Stunde an das Wasser überführt,

B das Gewicht des Eisens der gesammten Anlage in kg,

ϑ die Temperatur, bis auf die sich die Anlage über Nacht abgekühlt hat,

t_1 die mittlere Temperatur der Anlage im Beharrungszustande,

z die Dauer des Anheizens bis zum Eintritte des Beharrungszustandes der Wärme in den Räumen,

so setze man die Heizfläche, d. h. die Feuer berührte Kesselfläche in qm:

$$F = \frac{1{,}1\left\{W_1 + 0{,}12\,B\,(t_1 - \vartheta)\right\}}{W_2\,z}. \qquad (195)$$

Für ϑ ist gewöhnlich die Raumtemperatur, für t_1 die Dampftemperatur, für W_2 bei Neuanlagen zweckentsprechend der bereits angeführte Werth (10000 *WE* bei Rauchrohr- und ähnlichen Kesseln, 8000 *WE* bei Röhrenkesseln) anzunehmen.

Die stündlich erforderliche Menge an Brennmaterial in kg ist alsdann zu setzen:

$$p = \frac{5\,W_2\,F}{3\,C}, \qquad (196)$$

sofern C die aus einem kg Brennmateriale beim Verbrennen theoretisch erzeugte Wärmemenge bedeutet (s. Aufstellung S. 121).

Ueber Bestimmung der Rostgrösse s. S. 124.

V. Die Heizkörper einer Hochdruck-Dampfheizung.

1. Konstruktion und Ausrüstung der Heizkörper.

Die Heizkörper einer Hochdruck-Dampfheizung sind nach Konstruktion und Gestalt nahezu die gleichen wie diejenigen einer Warmwasserheizung, nur ist bei ihnen besonders darauf zu achten, dass beim Anlassen des Dampfes die Luft rasch entweichen kann. Mischt sich die Luft mit dem Dampfe, so kann das Gemisch nicht so viel Wärme abgeben, als reiner Dampf. Die einfache Rohrleitung ist also die beste Form eines Heizkörpers, da sich in ihr der Dampf und die auszutreibende Luft nur in einer kleinen Fläche berühren, somit wenig Gelegenheit finden, sich zu mischen, Heizkörper in Form von Säulenöfen sind dagegen bei Dampfheizung nicht anzuwenden. Der Dampf ist, da leichter als Luft, von oben in die Heizkörper einzuführen.

Digitized by Google

Wenn Heizkörper von kleinem Dampfraume mit getrennter Leitung für Dampf und Niederschlagswasser versehen werden (s. Fig. 61 S. 286), so entweicht die Luft meist anstandslos, wenn dagegen ein gemeinsamer Strang für Dampf und Niederschlagswasser vorhanden ist (siehe Fig. 63), so müssen die Heizkörper Entlüftungsvorrichtungen erhalten. Dieselben bestehen entweder in einfachen beliebig zu öffnenden Hähnen, Luftschrauben u. s. w. und bedingen unliebsame Bedienung, oder in Ventilen, die selbstthätig durch die ungleiche Ausdehnung zweier Körper geöffnet oder geschlossen werden, je nachdem eine niedrige oder hohe Temperatur (Luft oder Dampf) im Heizkörper herrscht. Empfehlenswerth sind auch die letzteren nicht, da sie ihren Dienst versagen können und alsdann Dampf entströmt.

Beim Abstellen eines Heizkörpers vom Dampfzuflusse oder beim Einstellen des Heizbetriebs tritt ein Vacuum ein, das ein Einströmen der Luft zur Folge hat, auch wenn der Luft unmittelbarer Zutritt nicht gegeben wird, nur dass im letzteren Falle etwas mehr Zeit vergeht, bis die Anlage mit Luft erfüllt ist. Heizkörper, die infolge ihres Materials und ihrer Gestaltung dem äusseren Luftdrucke nicht zu widerstehen vermögen, müssen mit selbstthätig wirkenden Lufteinlassventilen versehen werden.

Bezüglich Aufstellung der Heizkörper u. s. w. muss auf das S. 161 Gesagte verwiesen werden.

2. Regelung der Heizkörper.

Die Regelung der Wärme-Abgabe der Heizkörper ist auf verschiedene Weise angestrebt worden, doch muss in der Unzulänglichkeit der zu erreichenden Wirkung ein Hauptgrund gesucht werden, dass die Hochdruck-Dampfheizung zur unmittelbaren Erwärmung von Räumen nicht empfehlenswerth erscheint.

Die Wärmeregelung durch Regelung des Dampfzuflusses mittels Ventilen oder Hähnen ist nur in weiteren Grenzen möglich, insofern der Zufluss des Dampfes von dem Druckunterschiede vor und hinter dem Ventile abhängt. Wird das Ventil gedrosselt, so dass also an sich weniger Dampf in den Heizkörper strömen kann, so kondensirt dieser um so schneller, da er sich auf der für den vollen Dampf berechneten Heizfläche ausbreitet. Die Folge davon ist eine Steigerung des Druckunterschieds und das Nachströmen grösserer Dampfmengen, als bei gleichbleibendem Druckunterschiede der Einstellung des Ventils entsprechen würde. Bei Vorhandensein nur eines gemeinsamen Stranges für Dampf und Niederschlagswasser tritt ausserdem noch Dampf durch den Abfluss des Niederschlagswassers ein und macht auch hierdurch die Regelung hinfällig, aber auch bei getrennter Dampf- und Kondensleitung findet häufig das gleiche statt, da die letztere meist auch mit Dampf erfüllt ist. Um letzterem Uebelstande wenigstens vorzubeugen,

Digitized by Google

hat man häufig für den Abfluss des Niederschlagswassers statt der gewöhnlichen Ventile Rückschlagsventile angewendet, die sich nur bei einem gewissen, bei manchen Konstruktionen beliebig einzustellenden Ueberdrucke im Heizkörper öffnen. Der erforderliche Ueberdruck wird durch eine bestimmte Menge des in dem Heizkörper sich ansammelnden Niederschlagswassers bewirkt. Diese Rückschlagsventile verursachen beim Abfliessen des Wassers Geräusch und sind daher auch nicht empfehlenswerth.

Eine weitere Regelung der Wärme-Abgabe der Heizkörper hat man versucht durch Ausschaltung von Heizfläche infolge Anstauens des Niederschlagswassers. Dieses wird durch entsprechende Einstellung des Abflussventils bewirkt, erfordert aber sorgfältige Bedienung und dauernde Aufsicht und bringt nur eine sehr allmähliche Verminderung der Wärme-Abgabe des Heizkörpers hervor.

Die Regelung endlich durch Isolirmäntel, die nach Bedarf ganz oder theilweise geöffnet werden, leistet ebenfalls nur in weiteren Grenzen Befriedigendes. Von dieser Regelung ist nahezu dasselbe zu sagen, wie von derjenigen durch Ventile, da mit fortschreitendem Schliessen der Isolirmäntel die Temperatur der eingeschlossenen Luft steigt, somit ein grösserer Auftrieb der Luft vorhanden ist und infolgedessen ein vermehrter Luftaustritt erfolgt. Auch vom hygienischen Standpunkte sind die Isolirmäntel nicht zu empfehlen.

Alles in allem ist von der Wärmeregelung bei Hochdruck-Dampfheizung zu sagen, dass dieselbe zur Zeit zu befriedigenden Ergebnissen nicht geführt hat und dass die Regelung der Temperatur in den zu erwärmenden Räumen nur durch Anwendung einer Anzahl Heizkörper, die dem Bedarfe entsprechend Ausschaltung finden, allenfalls zufriedenstellend erfolgen kann.

3. Berechnung der Heizkörper.

Die Berechnung der Heizkörper hat bereits auf S. 180 Erörterung gefunden. Es ist zu setzen:

$$F = \frac{W}{k\left(\frac{t' + t''}{2} - t_s\right)},$$

worin bedeutet:

- F die Wärme abgebende Fläche des Heizkörpers in qm,
- W die von dem Heizkörper stündlich zu liefernde Wärmemenge in WE,
- t' bezw. t'' die Ein- bezw. Austrittstemperatur des Dampfes,
- t_s die Temperatur der zuströmenden Luft,
- k den Transmissionskoefficienten (aus Tabelle 13, III unter Berücksichtigung des auf S. 171 u. f. Gesagten zu entnehmen).

Digitized by Google

VI. Die Rohrleitungen einer Hochdruck-Dampfheizung und deren Ausrüstung.

1. Anordnung der Dampfleitungen.

Ueber die Grundsätze, die bei der Führung der Rohrleitung in Frage zu kommen haben, ist bereits auf S. 286 das Erforderliche gesagt worden.

Vom Dampfkessel bezw. vom Dampfsammler der Dampfkessel wird, sofern Dampf nach verschiedenen Verbrauchsorten und zu verschiedenen Zwecken geliefert werden muss, was bei Hochdruck-Dampfheizung fast immer der Fall ist, der Dampf zunächst einem Ventilstocke (Dampfvertheiler) zugeführt, von dem die betreffenden Einzel-Dampfleitungen abzweigen.

Fast immer, besonders aber bei einer ausgedehnten Anlage ist darauf zu achten, dass die Haupt-Dampfleitung einer erforderlichen Reparatur unterworfen werden kann, ohne den Betrieb der Anlage einstellen zu müssen. Es sind daher Ersatzleitungen vorzusehen, deren Bemessung ganz besonderer Ueberlegung zu empfehlen ist. In den seltensten Fällen ist es rathsam, die für den grössten Wärmebedarf erforderlich werdende Rohrleitung doppelt auszuführen, da eine solche Anordnung theuer in der Anlage und infolge der nie zu vermeidenden Wärmeverluste auch theuer im Betriebe sich stellen würde. Die Rohrleitungen müssen sich im Betriebe ergänzen, z. B. können zwei Rohrleitungen von gleichem bezw. ungleichem Durchmesser angelegt werden, die zusammen benutzt für den grössten Wärmebedarf bei normaler Dampfspannung ausreichen, von denen aber eine ebenfalls für den grössten Wärmebedarf unter Steigerung der Dampfspannung bezw. unter Einschränkung des Lüftungsbetriebs u. s. w. genügt. Bei Krankenhäusern, bei denen Warmwasserbedarf, sowie ein mässiger Dampfbedarf (Küchen, Dampfbäder, Sterilisation der Instrumente, Desinfektion u. s. w) auch im Sommer vorhanden ist, muss für die zweckmässigste Wahl der Anzahl und Durchmesser der Rohrleitungen, der Winter- und Sommerbedarf unter dem Gesichtspunke unbedingter Sicherheit gegen Betriebsstörungen und grösster Oekonomie für den Betrieb in Rücksicht gezogen werden. Dies geschieht in der Praxis noch viel zu wenig und daher werden häufig Klagen über zu theuren Betrieb der centralen Wärmeversorgung anstatt der unrichtigen Ausführung zur Last gelegt. Für die Wirthschaftlichkeit einer Fernheizung kommt hauptsächlich die Grösse der Wärmeverluste in Frage, diese hängt aber wesentlich von der Anlage für den Wärmetransport ab. Richtige Wahl der Dampfleitungen nach Anzahl und Durchmesser, gute Umhüllung derselben mit den besten Wärmeschutzmitteln und möglichst hohe Dampfspannungen sind daher von grösster Wichtigkeit.

Digitized by Google

Die Rohrleitungen mit hochgespannten Dämpfen sind stets zugänglich zu verlegen. Bei Fernheizungen sind gemauerte und begehbare (nicht nur beschlupfbare) vor Abkühlung gut geschützte Kanäle anzuordnen, die möglichst mit Tageslicht versehen, wenigstens aber künstlich erhellt werden müssen. In einem solchen Kanale sollen thunlichst keinerlei Apparate Aufstellung finden, die einer Aufsicht und Wartung zu unterliegen haben. Der Kanal muss ab und zu eine Verbindung mit aussen erhalten, damit bei einem eintretenden Rohrbruche — dessen Wahrscheinlichkeit allerdings bei solider Ausführung eine geringe ist — ein schnelles Entweichen aus dem Kanale ermöglicht wird.

2. Ausführung der Dampfleitungen.

Im Allgemeinen gilt dasselbe bezüglich des Materials und der Ausführung wie das bei der Warmwasserheizung Gesagte (s. diese), nur ist Folgendes noch hinzuzufügen.

Bei Dichtung mittels Flanschen sind diese entweder als feste oder lose Flanschen auszuführen. Im ersten Falle sind sie selber, im zweiten Falle sind die erforderlichen Bunde auf die Röhren aufzuschweissen. Harte Löthung der Flanschen oder Bunde ist nur bei niedriger Dampfspannung zuzulassen. Gegen das Herausfliegen des Dichtmaterials oder Eindringen desselben in das Rohrinnere ist durch geeignete Konstruktion der Flanschen bezw. Bunde (z. B. Ineinanderdrehen) Vorsorge zu treffen. Zur Dichtung muss ein Material Verwendung finden, das zwar eine gewisse Elastizität besitzt, aber bei der Temperatur des Dampfes eine Veränderung nicht erfährt.

Der Ausdehnung der Rohre — da dieselbe beim Anlassen des Dampfes fast plötzlich erfolgt — ist besondere Sorgfalt zu widmen. Bei Erwärmung eines Rohres um 100^0 dehnt es sich pro laufendes Meter um etwa 1,2—1,3 mm aus. Dem durch die Ausdehnung bedingten Schube ist durch Anordnung die Bewegung nicht hemmender Stützpunkte Rechnung zu tragen. Bei horizontalen Leitungen, die hierbei vorwiegend in Frage kommen, lagert man daher die Rohre entweder in Schlingen oder auf Rollen bezw. beweglichen Schlitten. Können die Schlingen nicht lang genug gemacht werden, so empfiehlt es sich, damit beim horizontalen Schube des Rohres nicht gleichzeitig ein Heben desselben eintritt, die Schlingen an ihrem Ende nicht fest zu legen, sondern mit einer auf einer Schiene laufenden Rolle zu versehen. Rollen zur unmittelbaren Lagerung horizontaler Rohrleitungen sind nicht sonderlich zu empfehlen, da an der Auflagestelle die Rohrleitung mit Wärmeschutzmitteln nicht umhüllt werden kann, vorzuziehen sind Schlitten, die fest mit dem Rohre verbunden sind, also auch eine Umhüllung des Rohres gestatten und Rollen- oder Kugellagerung erhalten.

Der Schub einer Rohrleitung infolge Erwärmung derselben muss

Digitized by Google

ausgeglichen werden. Bei fortlaufenden horizontalen Leitungen bewirkt man durch Festlegen einzelner Punkte (Festpunkte), dass der Schub nur nach einer bestimmten Richtung erfolgen kann und gleicht denselben durch besondere Ausdehnungsvorrichtungen (Kompensatoren) aus. Die Kompensatoren bilden jederzeit einen wichtigen Bestandtheil der Rohrleitung, da ein Versagen derselben zu Rohrbrüchen führen kann. Die besten Kompensatoren sind an und für sich diejenigen, die der Bewegung des Dampfes keinen Widerstand entgegensetzen, die keiner Wartung und besonderer Aufsicht bedürfen und bei denen Reparaturen möglichst ausgeschlossen bleiben. Es giebt z. Z. noch keine Konstruktionen, die diesen Anforderungen unbedingt genügen. Die sogenannten „Stopfbuchsenkompensatoren" erfüllen zwar die erste, nicht aber die zweite Bedingung; sie setzen sich leicht fest, besonders im Sommer also im Ruhezustande der Anlage, müssen alsdann neu verpackt werden, was meist nicht geschieht; sie sind daher nicht zu empfehlen. „Gelenkkompensatoren" erfüllen sämmtliche Bedingungen ebenfalls nicht vollkommen, sie geben leicht zu Undichtheiten Veranlassung und man kann sich auf sie nur bei sorgfältiger Ueberwachung verlassen. Kupferne „Linsenkompensatoren" werden nur noch selten verwendet, sie sind theuer und werden leicht brüchig. Metallrohre aus gezogenen nahtlosen Röhren, biegsam gemacht durch Einwalzen von Wulsten nach Art der Wellblechrohre (Deutsche Waffen- und Munitionsfabrik, Karlsruhe), sowie Metallschläuche (Metallschlauch-Fabrik, Pforzheim) sind noch nicht genügend in der Praxis angewendet und durch dieselbe erprobt worden, um an dieser Stelle empfohlen werden zu können. Wenn sie sich als haltbar erweisen, verdienen sie entschieden grosse Beachtung. Am gebräuchlichsten sind zur Zeit noch kupferne Kompensatoren in Gestalt gebogener Kupferröhren. Diese Röhren bilden einen Theil der Dampfrohrleitung und werden entweder derartig in dieselbe eingefügt, dass die ganze Leitung eine Art Schlangenlinie erhält (Rietschel & Henneberg, Fernheizwerk Dresden), so dass bei der Ausdehnung die mit grossem Durchmesser versehenen Kupferbogen sich weiter durchbiegen, der Radius des Bogens sich also verkleinert, oder man giebt ihnen Schleifenform bezw. die Gestalt eines Posthornrohres. Beim Einsetzen dieser kupfernen Kompensatoren in die Rohrleitung sind sie etwa um die Hälfte des Schubes, den sie auszugleichen haben, zu strecken, damit beim Ausdehnen der Leitung nur die halbe Schublänge auf ihre Durchbiegung zur Verwendung kommt. Die Wirkung dieser Kompensatoren ist eine gute, ihre Schwäche besteht in dem Umstande, dass das Kupfer, wenn die Kompensatoren nicht reichlich gross bemessen werden, infolge der sich vielfach wiederholenden Durchbiegungen mit der Zeit spröde und brüchig wird. Die Kompensatoren in Schleifenform oder in Gestalt eines Posthornrohres bedingen auch eine jeweilige oftmals nicht

Digitized by Google

angenehme seitliche Verbreiterung des Rohrkanals. Bei ganz geringen Dampfspannungen — aber auch nur bei diesen — kann dem infolge des wiederholten Durchbiegens eintretenden Sprödewerden des Kupfers durch Ausglühen des Kompensators begegnet werden, da dadurch die Elastizität, also auch die Neigung zum Brüchigwerden verloren geht — jedenfalls nimmt aber auch die Festigkeit ab.

Als ein grosser Vorzug der Anordnung einer Dampfrohrleitung ist es jedenfalls zu bezeichnen, wenn Kompensatoren entbehrlich werden. Bei langen fortlaufenden Horizontalleitungen ist dies niemals zu erzielen, wohl aber bei einem leicht beweglich gelagerten Rohrnetze, das mehrfache längere rechtwinkelige Abbiegungen erfahren kann. Die Rohrleitungen werden alsdann durch die auf sie wirkenden Schübe seitlich aus ihrer Lage verschoben, bilden also selbst die Kompensatoren, was bei der Elastizität der Rohre zu Bedenken keine Veranlassung giebt. Natürlich muss die ganze Anordnung sorgfältig durchdacht sein, damit an den vorhandenen und unvermeidlichen Festpunkten der Anlage (senkrechte Abzweige, Heizkörper u. s. w.) Spannungen im Materiale oder in den Verbindungen nicht entstehen können. Die Möglichkeit einer derartigen Anordnung beweisen die Fernheizanlage der Heilstätte in Beelitz, die Heizungsanlage des Reichstagsgebäudes und andere.

Trotz sorgfältigster Anordnung und Ausführung einer unter hochgespanntem Dampfe stehenden Leitung ist mit der wenn auch nicht sehr nahe liegenden Möglichkeit eines Rohrbruchs u. s. w. zu rechnen und daher bei langen Leitungen und der Gefahr, die für die Bedienungsmannschaften, besonders in engen Kanälen entstehen kann, auf Sicherheitsvorrichtungen Bedacht zu nehmen. Als solche werden häufig die „Schnellschlussventile“ angeführt, d. h. Ventile, die bei plötzlich hinter ihnen eintretender starker Druckverminderung einen selbstthätigen Abschluss des Dampfes bewirken. Bei Dampfheizungen sind dieselben in dieser Form jedoch nicht zu empfehlen, da, wenn sie den gewünschten Grad der Empfindlichkeit besitzen, sie auch leicht beim plötzlichen Anlassen eines an die Dampfleitung angeschlossenen Gebäudes in unerwünschte Thätigkeit treten werden. Empfehlenswerth sind nur Schnellschlussventile, die nicht selbstthätig wirken, sondern von jeder Stelle der Dampfleitung aus beliebig bethätigt werden können.

Um in einer Dampfleitung einen plötzlichen aber jederzeit trotz eines wechselnden Dampfverbrauchs gleichbleibenden Spannungsabfall zu erzielen, sind selbstthätige Apparate zum Vermindern des Dampfdrucks, sogenannte „Dampfdruckreducirventile, Druckregler“ in Verwendung. Ihre Wirkung beruht auf der selbstthätig nach Massgabe der gewünschten Spannung sich regelnden Einstellung eines Dampfdurchlassventils. Es giebt sehr empfindliche und auch bei grossen Spannungsabfällen noch sicher wirkende Apparate (Kaeferle, Nach-

Digitized by Google

tigall & Jacoby, Salzmann u. A.), doch ist es immerhin rathsam, bei Abfall von einer hohen (5 Atm. und mehr) auf eine sehr niedrige Spannung (0,1 Atm. und darunter) der Sicherheit halber zwei Apparate hinter einander zu schalten und jedem nur einen Theil des Spannungsabfalls zu überlassen.

Ueber den Schutz der Dampfleitungen vor Wärmeverlusten siehe S. 184.

Nach Fertigstellung der Anlage empfiehlt es sich, dieselbe in kaltem Zustande unter dem doppelten Betriebsdrucke, mindestens aber unter einem Drucke zu probiren, der einer Dampfspannung von 4—5 Atm. gleichkommt. Bei grossen Fernheizanlagen müssen die Einzelanlagen der Gebäude für sich, die Rohrlängen der Hauptvertheilungsleitungen aber vor dem Verlegen geprüft werden.

3. Anordnung und Ausführung der Niederschlagswasserleitungen.

Die Rohrleitungen für Niederschlagswasser unterliegen bezüglich der Anordnung und Ausführung im Allgemeinen denselben Bedingungen wie die Dampfleitungen (s. diese), nur kommt ihrer Ausführung zu gute, dass sie bedeutend geringere Durchmesser zu erhalten haben.

Da aus einer Niederschlagswasserleitung nur Wasser, nicht aber Dampf austreten darf, so muss an irgend einer passenden Stelle derselben eine Verschlussvorrichtung eingeschaltet werden, die so zu regeln ist, dass eben nur Wasser entweichen kann. Als solche lässt sich ein gewöhnliches Ventil verwenden, erfordert dann aber fortwährende Beaufsichtigung, da das Ventil eine dem jeweiligen Wärmebedarfe entsprechende Einstellung erhalten muss. Wird es zu weit geöffnet, entweicht Dampf, wird es zu sehr gedrosselt, staut sich das Niederschlagswasser in der Anlage und setzt die Heizkörper ausser Wirksamkeit. Um dem Nachtheile der Bedienung zu entgehen, verwendet man sogenannte selbstthätige Niederschlagswasserableiter, deren es in der Praxis eine sehr grosse Anzahl verschiedener Konstruktionen und verschiedener Brauchbarkeit giebt. Grundsätzlich sind zwei verschiedene Arten zu unterscheiden. Die eine Art wird in ihrer Thätigkeit durch die sich bildende Wassermenge, die andere durch die Dampfwärme geregelt.

Bei Regelung durch die Wassermenge kann nur Wasser aus den Ableitern austreten, bei Regelung durch die Wärme auch, wie bei den oben erwähnten einfachen Ventilen, die in der Anlage vor dem Anlassen befindliche Luft. Da beim Anlassen des Dampfes stets für Entfernung von Luft Sorge zu tragen ist, sind die letzteren Ableiter für Heizzwecke bei sonst gleich guter Konstruktion meist vorzuziehen. Bei Anwendung der ersteren müssen besondere Entlüftungen der Anlage vorgesehen werden.

Digitized by Google

Die Niederschlagswasserableiter sind sehr empfindlich gegen Unreinigkeiten, d. h. sie lassen bei der geringsten Beeinträchtigung des fleissigen Schlusses ihrer Ventile Dampf austreten; sie müssen daher eine Nachhilfe auch ohne Beeinträchtigung des Betriebs der Anlage gestatten. Zu diesem Zwecke sind sie mit einer unabhängig durch Ventile ein- bezw. auszuschaltenden Umgehung in die Rohrleitung einzufügen, die während der Zeit einer erforderlichen Reinigung oder Reparatur den nöthigen Wasserabfluss gestattet.

Wie bereits erwähnt, ist das Niederschlagswasser möglichst mit natürlichem Gefälle dem Kesselhause zur Speisung der Kessel zuzuführen. Wenn mit natürlichem Gefälle nicht möglich, muss das Wasser durch Dampfpumpen oder Pumpen mit elektrischem Antriebe oder durch andere geeignete Vorrichtungen Beförderung finden; die Pumpen saugen alsdann aus einem an centraler Sammelstelle angebrachten Gefässe. Am besten wird alsdann der Antrieb der Pumpen durch den Stand des Wassers in diesem Gefässe mit Hilfe eines Schwimmers bethätigt. Sind mehrere Gebäude vorhanden, so ist aus Gründen vereinfachter und billigerer Anlage die Vereinigung der einzelnen Kondensleitungen zu einer Hauptleitung anzustreben. Leitungen, in denen das Wasser mit natürlichem Gefälle zurückfliesst, sind jedoch der ungleichen Druckverhältnisse halber nicht mit Pumpenleitungen zu verbinden. In Fällen also, in denen Pumpen Aufstellung finden müssen, bei denen gleichwohl aber das Zurückfliessen des Niederschlagswassers durch natürliches Gefälle erwünscht ist, stellt man in entsprechender Höhe Gefässe auf, in die das Wasser gedrückt wird und von denen es mit natürlichem Gefälle in die vereinigte Leitung abfliessen kann (Fernheizwerk Dresden). Die in den verschiedenen Gebäuden befindlichen Gefässe ordnet man dann am besten in einer Horizontalebene an, damit für den Fall der Verstopfung der vereinigten Leitung nicht das Niederschlagswasser eines Gebäudes in ein anderes Gebäude durch das niedriger stehende Gefäss sich ergiessen kann.

Strömender Dampf schützt eiserne Röhren vor dem Rosten, Dampfröhren besitzen daher meist eine lange Lebensdauer, bei den Röhren für Niederschlagswasser dagegen macht man vielfach die Erfahrung schneller Zerstörung. Das Rosten findet bei eingestelltem Betriebe, hauptsächlich also im Sommer statt, da die Röhren lange Zeit sich nass erhalten. Die erste Bedingung ist, Kupfer als Dichtmaterial auszuschliessen, weil besonders an den Dichtstellen horizontaler Leitungen kleine Wasseransammlungen bestehen bleiben und dann eintretende elektrische Ströme (Eisen, Kupfer, Wasser) rasche Zerstörung herbeiführen können. Voraussichtlich hängt das Rosten auch von der Beschaffenheit des Kesselspeisewassers ab. Wenn auch jederzeit das Niederschlagswasser zum Speisen des Kessels benutzt werden soll, so muss doch immer eine zeitweilige Ergänzung des Wassers stattfinden,

Digitized by Google

und wenn auch das Niederschlagswasser an und für sich frei von Beimengungen ist, so kommt doch jederzeit durch mechanisches Mitreissen Kesselwasser in die Leitung. Behufs sicheren Vermeidens rascher Zerstörung durch Rost verwendet man in der Praxis daher für die Niederschlagswasserleitungen, soweit sie nach ihrer Anordnung nicht auch im Sommer mit Wasser gefüllt bleiben, häufig Kupfer anstatt Eisen oder man trifft Einrichtungen, die im Sommer ein Füllen der Anlage mit abgekochtem Wasser gestatten.

VII. Berechnung der Dampfleitungen.

A) Theorie.

Bei Wasser konnte die Geschwindigkeit in einer Theilstrecke des Rohrsystems als gleichbleibend angenommen werden (s. Warmwasserheizung), bei Dampf ist dies nicht zulässig, da zufolge der unvermeidlichen Wärmeverluste und der der Bewegung des Dampfes entgegenstehenden Widerstände durch Reibung, Richtungsänderungen u. s. f. die Spannung und somit auch die Dichtigkeit des Dampfes sich beständig ändern.

Bezeichnet:

W die Wärmemenge, die stündlich durch eine gleichweite Rohrleitung gefördert werden soll in *WE*,

W' die Wärmemenge, die stündlich durch Wärme-Abgabe der Rohrleitung verloren geht in *WE*,

Q die Dampfmenge, die stündlich am Ende der Rohrleitung verlangt wird in kg,

Q' die Dampfmenge, die stündlich durch die Wärmeverluste in dieser Rohrleitung aufgebraucht wird in kg,

l die Länge dieser Leitung in m,

d bezw. D den inneren bezw. äusseren Durchmesser dieser Leitung in m,

t_m die Temperatur der mittleren Spannung des Dampfes in der Rohrleitung,

t_z die Temperatur der zu dem Rohre strömenden äusseren Luft,

λ_m die latente Wärme der mittleren Spannung des Dampfes in dem Rohre,

k den Transmissionskoefficienten bezogen auf die äussere Fläche des Dampfleitungsrohres (auch bei umhülltem Rohre),

so kann man die Dampfmenge in kg setzen, die in einer Entfernung x vom Ende des Rohres kondensirt ist:

$$\frac{D\pi\,(t_m - t_z)\,kx}{\lambda_m},$$

Digitized by Google

und die sekundliche Geschwindigkeit v, die an dieser Stelle herrschen muss, wenn γ das entsprechende Gewicht eines cbm Dampfes bezeichnet:

$$v = \frac{Q + \frac{D\pi (t_m - t_s) kx}{\lambda_m}}{3600 \gamma \frac{d^2 \pi}{4}}.$$

Durch die der Bewegung des Dampfes entgegenstehenden Widerstände wird ein Theil der zur Verfügung stehenden Dampfspannung aufgebraucht. Wird zunächst nur die Reibung des Dampfes an der Rohrwandung in Rücksicht gezogen, so lässt sich, anschliessend an die für die Luft- oder Wasserbewegung benutzten Ausdrücke, die in einem unendlich kleinen Theilchen dx (nach dem Anfange zu gerechnet) erforderliche Differenz der Spannungen bestimmen durch die Gleichung:

$$dp = \frac{v^2}{2g} \gamma \frac{\varrho}{d} dx,$$

sofern ausser den bereits bekannten Grössen:

p die Spannung des Dampfes in der Entfernung x vom Ende,
ϱ den Reibungskoefficienten

bedeutet.

Führt man in diesen Ausdruck den vorher bestimmten Werth von v ein, so geht er über in den andern:

$$dp = \frac{\left(Q + \frac{D\pi (t_m - t_s) kx}{\lambda_m}\right)^2 \gamma \varrho}{2g \cdot \left(3600 \gamma \frac{d^2 \pi}{4}\right)^2 d} dx.$$

Setzt man zur Abkürzung:

$$\frac{4^2 \varrho}{2g \cdot 3600^2 \pi^2} = A, \qquad (197a)$$

$$\frac{\pi (t_m - t_s) k}{\lambda_m} = B, \qquad (197b)$$

so erhält man:

$$dp \gamma = \frac{A}{d^5} (Q + DBx)^2 dx. \qquad (198)$$

Die vorstehende Entwickelung ist im Wesentlichen die von H. Fischer*) gegebene. In der weiteren Behandlung nimmt Fischer für γ den Navier'schen Ausdruck an, der zu einer Gleichung für

*) S. Handbuch der Architektur. III. 4. (2. Aufl.) S. 165.

Digitized by Google

$p < 36000$ kg und zu einer anderen für $p > 36000$ kg führt; statt dessen kann der von Zeuner gegebene Ausdruck:

$$\gamma = a p^{\beta} \qquad (199)$$

Verwendung finden, in dem zu setzen ist:

$a = 0{,}00010797$ für p in kg/qm (0,6061 für p in Atm.),
$\beta = 0{,}9393$.

Diesen Werth für γ in die Gleichung eingeführt, giebt:

$$a p^{\beta} dp = \frac{A}{d^5} (Q + DBx)^2 dx.$$

Ist am Ende der Rohrleitung, wo Q kg Dampf erforderlich sind, der Druck p_1, am Anfange der Rohrleitung, soweit nur die Reibung berücksichtigt wird, dagegen p_2', so dass also

$$\text{für } x = 0 : p = p_1, \quad \text{für } x = l : p = p_2'$$

wird, so erhält man durch Integration des vorstehenden Ausdruckes und Lösung auf p_2', sofern man für $BDl = Q'$ setzt, da dieser Werth den Dampfverlust durch Wärme-Abgabe der Rohrleitung darstellt:

$$p_2' = \sqrt[\beta+1]{\frac{\beta+1}{a} \frac{Al}{3d^5} \left\{3Q^2 + Q'(3Q + Q')\right\} + p_1^{\beta+1}}.$$

Der Erfahrung entsprechend kann $\frac{\varrho}{2g} = 0{,}0015$ gesetzt werden, somit geht, wenn ausserdem für A, a und β die entsprechenden Zahlenwerthe eingesetzt werden, vorstehende Gleichung über in die andere:

$$p_2' = \sqrt[1{,}9393]{\frac{11200\, l}{(100\, d)^5} \left\{3Q^2 + Q'(3Q + Q')\right\} + p_1^{1{,}9393}}. \qquad (200)$$

Der vorstehende Ausdruck ist für die Benutzung unbequem; zur Vereinfachung möge in der Gl. 198:

$$\gamma = a + bp \qquad (201)$$

gesetzt werden. Nach der Methode der kleinsten Quadrate ergiebt sich dann für 2 bis 10 Atm. absolut, wenn sich p wieder auf kg/qm bezieht:

$a = 0{,}1521$,
$b = 0{,}000049769$.

Die grösste Abweichung gegen die von Zeuner angegebenen Werthe liegt hierbei bei einer Dampfspannung von 5 Atm. und beträgt noch nicht $1\,\%$. Die Fehler sind also so gering, dass sie gegenüber anderen Annahmen, z. B. der Annahme eines bei jeder Dampf-

Digitized by Google

geschwindigkeit gleichbleibenden Reibungskoefficienten, zu vernachlässigen sind.

Den Ausdruck für γ in die Gl. 198 eingesetzt, erhält man:

$$(a + bp)\,dp = \frac{A}{d^5}(Q + DBx)^2\,dx, \qquad (202)$$

und nach Integration, Einführung des Werthes von A und $BDl = Q'$:

$$p_2' = \sqrt{\frac{25160\,l}{(100\,d)^5}\left\{3Q^2 + Q'(3Q + Q')\right\} + (p_1 + 3060)^2} - 3060. \qquad (203)$$

Der Verbrauch an Spannung durch die einmaligen Widerstände (körperliche Hindernisse, Richtungsänderungen u. s. w.) lässt sich für jeden einzelnen Widerstand ζ bestimmen durch $\frac{v^2}{2g}\gamma\zeta$. Es sind dann für v und γ die Geschwindigkeit und Dichtigkeit des Dampfes einzuführen, die an der betreffenden Stelle herrschen, wo der Widerstand sich befindet. Da diese Rechnung viel zu umständlich ist und die einmaligen Widerstände gegenüber der Reibung jederzeit nur einen verhältnissmässig geringen Spannungsverbrauch bedingen, so bringe man, um für alle Fälle sicher zu sein, die Geschwindigkeit am Anfange des Rohres, die Dichtigkeit des Dampfes am Ende des Rohres vom Kessel ab gerechnet in Ansatz. Alsdann ergiebt sich der Betrag, um den der Anfangsdruck grösser sein muss, damit der vorgeschriebene Enddruck eintritt und die einmaligen Widerstände überwunden werden können, zu:

$$p_2'' = \frac{v_a^2}{2g}\gamma\Sigma\zeta,$$

wenn bedeutet:

- v_a die am Anfange des Rohres herrschende sekundliche Geschwindigkeit in m,
- γ das Gewicht von einem cbm Dampf am Ende des Rohres nach Massgabe des Drucks p_1,
- $\Sigma\zeta$ die Summe der Werthe aller einmaligen Widerstände.

Für v_a ist dann zu setzen:

$$v_a = \frac{Q + Q'}{3600\,\gamma\,\frac{d^2\pi}{4}},$$

somit wird:

$$p_2'' = \frac{(Q + Q')^2\,\Sigma\zeta}{156854070\,\gamma\,d^4} = \frac{(Q + Q')^2\,\Sigma\zeta}{(111{,}9\,d)^4\,\gamma}. \qquad (204)$$

ζ ist anzunehmen für:

Digitized by Google

eine rechtwinkelige Ablenkung (Knie) .	1,
einen Bogen	0,3 bis 0,5,
ein geöffnetes Ventil	0,5 bis 1,
einen geöffneten Hahn	0,3 bis 1,
Bogen von mehr als dem fünffachen Rohrdurchmesser	0.

Der Anfangsdruck des Dampfes unter Berücksichtigung der Wärmeverluste, der Reibung und der einmaligen Widerstände ergiebt sich alsdann zu:

$$p_2 = p_2' + p_2'' = \sqrt[1{,}9393]{\frac{11200\,l}{(100\,d)^5}\left\{3Q^2 + Q'(3Q + Q')\right\} + p_1^{1{,}9393}} + \\ + \frac{(Q+Q')^2\,\Sigma\zeta}{(111{,}9\,d)^4\,\gamma}, \quad (205)$$

oder nach Gl. 203 einfacher und mit derselben Genauigkeit für 2 bis 10 Atm. (absolut):

$$p_2 = p_2' + p_2'' = \sqrt{\frac{25160\,l}{(100\,d)^5}\left\{3Q^2 + Q'(3Q + Q')\right\} + (p_1 + 3060)^2} - 3060 + \\ + \frac{(Q+Q')^2\,\Sigma\zeta}{(111{,}9\,d)^4\,\gamma}. \quad (206)$$

Für die meisten Fälle der Praxis lassen sich noch Vereinfachungen dieser Gleichungen herbeiführen. Da die zweite Gleichung (206) in der Handhabung die einfachere ist, so soll in der Folge auch nur diese weitere Benutzung finden.

Sofern der Werth von Q' gegen Q klein ist, was fast immer stattfindet, so kann derselbe gegen $3Q$ in der Klammer unter dem Wurzelzeichen vernachlässigt werden; alsdann erhält man aus Gl. 206 die andere:

$$p_2 = p_2' + p_2'' = \sqrt{\frac{75480\,l}{(100\,d)^5}\left\{Q(Q + Q')\right\} + (p_1 + 3060)^2} - 3060 + \\ + \frac{(Q+Q')^2\,\Sigma\zeta}{(111{,}9\,d)^4\,\gamma}. \quad (207)$$

Die Rohrleitungen, die für Wärme-Abgabe nicht bestimmt sind, wird man jederzeit vor Zutritt kalter Luft schützen und sie in Kanäle betten. Bei begehbaren geschlossenen Kanälen kann man bei guter Umhüllung des Rohres die zuströmende Luft zu etwa 20 bis 30° annehmen; bei nicht umkleideten Röhren ist sie natürlich wesentlich höher. Rechnet man der Sicherheit halber mit der unteren Grenze, so kann man für eine Dampfspannung bis zu etwa 5 Atm. abs. setzen:

$$Q' = m\,D\,l,$$

worin bei einem vor Wärme-Abgabe

Digitized by Google

nicht geschützten Rohre: $m = 10$,
gut „ „ $m = 2{,}1$

zu nehmen ist.

Alsdann geht Gl. 207 in die andere über:

$$p_2 = p_2' + p_2'' = \sqrt{\frac{75480\,l}{(100\,d)^5}\left\{Q(Q + m\,D\,l)\right\} + (p_1 + 3060)^2} - 3060 + \\ + \frac{(Q + m\,D\,l)^2\,\Sigma\zeta}{(111{,}9\,d)^4\,\gamma}. \quad (208)$$

Ist nur die stündlich erforderliche Wärmemenge W gegeben, die der Dampf zu liefern hat, so geht die letzte Gleichung über in die andere:

$$p_2 = p_2' + p_2'' = \sqrt{\frac{0{,}279\,l}{(100\,d)^5}\left\{W(W + n\,D\,l)\right\} + (p_1 + 3060)^2} - 3060 + \\ + \frac{(W + n\,D\,l)^2\,\Sigma\zeta}{(2550\,d)^4\,\gamma}, \quad (209)$$

worin bei einem vor Wärme-Abgabe

nicht geschützten Rohre: $n = 5200$,
gut „ „ $n = 1100$

zu setzen ist.

Fast genau die gleichen Werthe innerhalb ziemlich weiter Grenzen wie aus der vorstehenden Gleichung erhält man aus dem durch Ermittelung auf graphischem Wege gefundenen Ausdrucke:

$$p_2 = p_2' + p_2'' = \sqrt{\frac{l\,W(W + n\,D\,l)}{4\,(100\,d)^5} + p_1^2} + \frac{(W + n\,D\,l)^2\,\Sigma\zeta}{(2550\,d)^4\,\gamma}, \quad *) \quad (210)$$

wenn n die gleiche Bedeutung wie bei Gl. 209 hat. Derselbe soll jedoch für die Folge verlassen werden, da die Gl. 209 noch genauer ist und auch keine grössere Schwierigkeit in der Berechnung verursacht.

B) Anwendung der Theorie auf die Praxis.

Die im vorigen Abschnitte entwickelten Gleichungen sind zur Bestimmung des Rohrdurchmessers nicht bequem, so dass, wenn dieselben in der Praxis Verwendung finden sollen, Vereinfachungen angestrebt werden müssen. Diese sind zu erzielen erstens durch den Umstand, dass die einmaligen Widerstände, die nur einen sehr geringen Einfluss auf den Rohrdurchmesser ausüben, entweder durch die weiter unten folgende Behandlung Berücksichtigung finden oder infolge der fast immer nothwendigen Aufrundung des lediglich unter Berücksichtigung der Reibungsverhältnisse berechneten Rohrdurch-

*) Der Ausdruck 210 ist der in der früheren Auflage des Leitfadens gegebene.

Digitized by Google

messers auf Handelsmafs überhaupt vernachlässigt werden können; zweitens durch Benutzung der umfangreichen in Band II enthaltenen Tabellen.

Für den Anschlag sind die Tabellen 18 immer genügend, meist auch, wie die Beispiele zeigen werden, für die Ausführung, d. h. unter der Voraussetzung, dass die Anzahl der vorhandenen einmaligen Widerstände keine ungewöhnlich grosse und die zu fördernde Dampfmenge etwas kleiner ist, als die Tabellen für die in Frage stehenden Verhältnisse angeben.

Keinesfalls soll jedoch empfohlen werden, alle Anlagen lediglich nach den Tabellen auszuführen, jedenfalls erscheint eine genaue Berechnung immer erforderlich, wenn eine ausgedehnte Fernheizung oder die Forderung einer ganz bestimmten Dampfspannung am Bedarfsorte vorliegt, die unbedingt einzuhalten ist. Für diesen Fall erleichtern jedoch auch die Tabellen die Berechnung wesentlich.

Wenn eine Rohrleitung für mehrere Bedarfsstellen Dampf zu fördern hat, so zerlegt sich dieselbe in verschiedene Theilstrecken, sofern unter einer solchen ein jeder Rohrzug von gleichbleibendem Durchmesser verstanden wird und in dem Rohrzuge — abgesehen von den Einflüssen der Wärmeverluste und Widerstände — die gleiche Dampfgeschwindigkeit erhalten bleibt. Bei Einschaltung eines Dampfdruckverminderers bildet dieser also, auch wenn der Durchmesser des Rohres sich nicht ändern sollte, den Grenzpunkt zweier Theilstrecken.

Für alle in den weiteren Betrachtungen vorkommenden Gleichungen ist wie früher:

W die am Ende der Theilstrecke stündlich zu liefernde Wärmemenge in WE,

W' die in der Theilstrecke durch Wärme-Abgabe stündlich verloren gehende Wärmemenge in WE,

Q die der geforderten nutzbaren Wärmemenge entsprechende Dampfmenge in kg,

Q' die der verloren gehenden Wärmemenge entsprechende Dampfmenge in kg,

p_1 bezw. $p_2 = p_2' + p_2''$ der absolute Druck des Dampfes am Ende bezw. am Anfange der Theilstrecke (vom Kessel ab gerechnet) in kg/qm,

p_2' der erforderliche absolute Druck des Dampfes am Anfange der Theilstrecke ohne Berücksichtigung der einmaligen Widerstände ($\Sigma\zeta$) in kg/qm,

p_2'' der Druck, um den p_2' vergrössert werden muss bei Berücksichtigung der einmaligen Widerstände in kg/qm,

d bezw. D der innere bezw. äussere Durchmesser des Rohres der Theilstrecke in m,

l die Länge der Theilstrecke in m,

Digitized by Google

$\Sigma\zeta$ die einmaligen Widerstände in der Theilstrecke (s. S. 302),
k der Transmissionskoefficient (bei nicht umkleideten Röhren zu 14 anzunehmen, bei umkleideten nach dem Werthe der gewählten Umkleidung [s. S. 184] zu bestimmen),
t_m die Temperatur des mittleren Dampfdrucks in der Theilstrecke,
λ_m die latente Wärme des mittleren Dampfdrucks in der Theilstrecke in WE,
λ die latente Wärme entsprechend dem Dampfdrucke p_1 (am Ende der Theilstrecke) in WE,
t_z die Temperatur der dem Rohre zuströmenden Luft (wenn das Rohr umkleidet ist und in Kanälen liegt, je nach der Wärme-Abgabe dieser Kanäle zu 20 bis 30^0 anzunehmen, letztere Temperatur besonders bei unterirdischen vor Wärmeabgabe gut geschützten Kanälen).

Es ist alsdann jederzeit nach Früherem:

$$W' = D\pi l k (t_m - t_z), \tag{211}$$

$$Q = \frac{W}{\lambda}, \tag{212}$$

$$Q' = \frac{W'}{\lambda_m}. \tag{213}$$

Fall 1. *Der Dampf ist unter hoher Anfangsspannung (bis 10 Atm. abs.) auf grössere horizontale Entfernung zu leiten. Die Anfangsspannung in der gesammten Rohrleitung (Kessel, Dampfvertheiler) und die Endspannung an den verschiedenen Bedarfsstellen sind vorgeschrieben.*

Fig. 65 stellt diesen Fall dar. Bei A, E (Dampfvertheiler) und F (Kessel), sowie an den Endpunkten der Zweigleitungen B', C' und D' sind die Dampfspannungen vorgeschrieben.

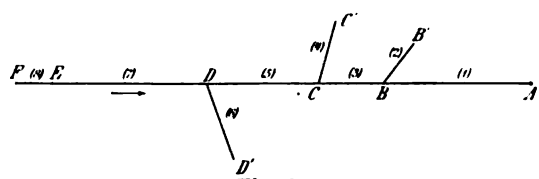


Fig. 65.

Wählt man in dem Hauptvertheilungsrohre A bis E eine gleichmässige Druckzunahme, so ist, wenn die gesammte Zunahme P, die gesammte Länge der Leitung (A bis E) L m beträgt, die Druckzunahme auf das laufende Meter $\frac{P}{L}$. Da weite Rohre mit ihren Lagerungen, ihrer Kompensation u. s. w. unverhältnissmässig theurer als

Digitized by Google

enge sind, so empfiehlt sich häufig, den Druck zu Anfang (also von A ab) langsamer als gegen Ende (also gegen E zu) wachsen zu lassen — hierfür müssen ausser den Kosten für die Herstellung auch die Wärmeverluste als ausschlaggebend in Betracht gezogen werden.

Nach getroffener Wahl der Druckzunahme dimensionirt man nach Tabelle 18 für den Anschlag die gesammte Rohrleitung. Für die Ausführung behält man dieselbe bei bis auf eine, am besten die letzte Theilstrecke der Hauptleitung, und bis auf eine, am besten die erste Theilstrecke (von der Hauptleitung gerechnet) jeder Zweigleitung. Man beginnt mit der Berechnung stets von dem Ende der Anlage ab und schreitet mit derselben allmählich derartig vor, dass vor Berechnung der nächsten Theilstrecke der Hauptleitung die im Treffpunkte der berechneten und der neuen Theilstrecke vorhandenen Zweigleitungen Erledigung finden. In Fig. 65 ist daher dem Gange der Rechnung entsprechend die Numerirung der Theilstrecken bewirkt worden.

Theilstrecke 1. In A ist die Dampfspannung, also der Dampfdruck, gegeben, in B ist nach Massgabe der angenommenen Druckzunahme der Dampfdruck bekannt. Aus der Druckzunahme für das laufende Meter und der Summe aus Anfangs- und Enddruck ist mit Hilfe der Tabelle 18 der Durchmesser d bestimmt worden. Die Berechnung hat nun zu erweisen, welcher Druck in B thatsächlich herrscht, damit mit diesem weiter gerechnet werden kann. Hierzu dient die Gl. 206, welche lautet:

$$p_2 = p_2' + p_2'' = \sqrt{\frac{25160\,l}{(100\,d)^5}\left\{3\,Q^2 + Q'(3\,Q + Q')\right\} + (p_1 + 3060)^2} - 3060 + \\ + \frac{(Q + Q')^2\,\Sigma\zeta}{(111{,}9\,d)^4\,\gamma}. \quad (214)$$

Zur Bestimmung von Q und Q' dienen die Gl. 211, 212 und 213.

Theilstrecke 2. Hat die Leitung BB' mehrere Theilstrecken, so ist mit der ersten (entferntesten vom Kessel) genau wie bei Theilstrecke 1 zu verfahren; besteht die Zweigleitung nur aus einer Theilstrecke, so ist, ebenso wenn sie aus mehreren besteht, für die letzte (an der Hauptleitung) der Rohrdurchmesser zu bestimmen. Hierzu dienen Gl. 206 und 207.

Zur Bestimmung des Rohrdurchmessers sind zwei Verfahren möglich. Das erste besteht darin, die einmaligen Widerstände zu vernachlässigen und dieselben lediglich durch Aufrundung des so berechneten Durchmessers auf Handelsmafs als gedeckt anzusehen, was angängig ist, wenn die Anzahl der einmaligen Widerstände nicht bedeutend ist und es auf genaue Einhaltung der der Rechnung zu Grunde gelegten Druckverhältnisse nicht ankommt. Das zweite Verfahren besteht darin, die einmaligen Widerstände nicht zu vernach-

Digitized by Google

lässigen, was bei einer grösseren Anzahl derselben, bei allen ausgedehnten Anlagen und bei Einhaltung bestimmter Druckverhältnisse nöthig erscheint. Da die Lösung der Gl. 206 und 207 auf d sehr umständliche Rechnung verursachen würde, so soll unter Begehung eines sehr kleinen und für das Ergebniss einflusslosen, höchstens eine Wiederholung der Rechnung bedingenden Fehlers ein einfacherer Weg eingeschlagen werden.

Ohne Berücksichtigung der einmaligen Widerstände berechnet sich der Durchmesser aus Gl. 206 zu:

$$d = 0{,}0759 \sqrt[5]{\frac{l\{3Q^2 + Q'(3Q + Q')\}}{(p_2 - p_1)(p_2 + p_1 + 6120)}}, \qquad (215)$$

oder aus Gl. 207 zu:

$$d = 0{,}0945 \sqrt[5]{\frac{l\,Q(Q + Q')}{(p_2 - p_1)(p_2 + p_1 + 6120)}}. \qquad (216)$$

Zur Bestimmung von Q, falls die Wärme W gegeben ist, sowie von Q' dienen die Gl. 211, 212 und 213.

Da zur Bestimmung von Q' der äussere Durchmesser des Rohres (D) erforderlich, dieser aber unbekannt ist, so hat man mit Hilfe von Tabelle 18 probeweise d anzunehmen und das diesem entsprechende D in Gl. 211 einzuführen. Sollte sich ergeben, dass die Annahme keine ganz richtige war (es wird sich bei Benutzung der Tabelle 18 höchstens um den Unterschied eines Handelsmafses handeln), so kann dieser Fehler, da von sehr geringem Einflusse, vernachlässigt werden, event. muss die Rechnung wiederholt werden.

Bei Berücksichtigung der einmaligen Widerstände wird die Berechnungsweise dadurch vereinfacht, dass man zunächst den Druck (p_2'') bestimmt, den die einmaligen Widerstände aufbrauchen, diesen von dem Gesammtdrucke (p_2) am Anfange des Rohres abzieht und alsdann den Durchmesser des Rohres aus Gl. 215 oder 216 statt mit p_2 mit $p_2 - p_2'' = p_2'$ berechnet. Nach Gl. 204 ist:

$$p_2'' = \frac{(Q + Q')^2 \Sigma\zeta}{(111{,}9\,d)^4 \gamma}, \qquad (217)$$

ferner ist also zu setzen:

$$p_2' = p_2 - p_2'', \qquad (218)$$

und der Durchmesser zu berechnen nach dem Gesagten entweder zu:

$$d = 0{,}0759 \sqrt[5]{\frac{l\{3Q^2 + Q'(3Q + Q')\}}{(p_2' - p_1)(p_2' + p_1 + 6120)}}, \qquad (219)$$

oder zu:

$$d = 0{,}0945 \sqrt[5]{\frac{l\,Q(Q + Q')}{(p_2' - p_1)(p_2' + p_1 + 6120)}}. \qquad (220)$$

Die Bestimmung von Q, falls die Wärme W gegeben, von Q' und D erfolgt wie bei Theilstrecke 1.

Digitized by Google

Die ganze Rechnung ist unter Annahme des berechneten d zu wiederholen, falls das zuerst angenommene d grösser als das berechnete und das letztere nahezu ein Handelsmafs ist, also für die Ausführung keine nennenswerthe weitere Aufrundung zu erfahren hat.

Theilstrecke 3. Der Druck p_2 der Theilstrecke 1 ist der Druck p_1 der Theilstrecke 3, der Durchmesser ist nach Tabelle 18 bereits gewählt, es ist also genau wie in Theilstrecke 1 der Druck p_2 zu berechnen.

Theilstrecke 4 und Theilstrecke 6 sind wie Theilstrecke 2 zu behandeln, Theilstrecke 5 wieder wie Theilstrecke 1 bezw. 3.

Theilstrecke 7 hat, da der Enddruck in E vorgeschrieben ist, die gleiche Behandlung wie Theilstrecke 2 zu erfahren, desgleichen Theilstrecke 8.

Allgemein ist also zu sagen: Bei allen Theilstrecken, bei denen der Enddruck gegeben und der Durchmesser nach Tabelle 18 angenommen ist, muss der Anfangsdruck mit Hilfe der Gl. 214, bei allen Theilstrecken, bei denen Anfangs- und Enddruck gegeben ist, muss der Durchmesser nach Massgabe der Berechnungsweise der Theilstrecke 2 bestimmt werden.

Alles Weitere zeigen die Beispiele.

Fall 2. *Der Dampf ist unter einer Anfangsspannung von nicht über 5 Atm. abs. zu leiten. Die vorgeschriebene Endspannung darf nicht überschritten werden.*

Da bei ausgedehnten Fernheizungen zweckmässig mit einer höheren Anfangsspannung gearbeitet wird, so kommt Fall 2 hauptsächlich bei Rohrleitungen von nicht zu bedeutender Ausdehnung, bei gewöhnlichen Heizungsanlagen, Heizkammern u. s. w. in Frage. Es können zur Berechnung der Rohrleitung selbstverständlich auch die in Fall 1 angewendeten Gleichungen, sowie die gleichen Verfahren benutzt werden, da jedoch die Grenzen der Dampfdrücke nicht weit auseinander liegen, so lassen sich die Gl. 208 oder 209 verwenden. Aus denselben ergiebt sich ohne Berücksichtigung der einmaligen Widerstände der lichte Durchmesser zu:

$$= 0{,}0945 \sqrt[5]{\frac{l\,Q\,(Q + m\,D\,l)}{(p_2 - p_1)(p_2 + p_1 + 6120)}} \quad \text{bezw.} \qquad (221)$$

$$d = 0{,}00775 \sqrt[5]{\frac{W\,l\,(W + n\,D\,l)}{(p_2 - p_1)(p_2 + p_1 + 6120)}}, \qquad (222)$$

wenn bei einem vor Wärme-Abgabe

nicht geschützten Rohre: $m = 10$ bezw. $n = 5200$,
gut „ „ $m = 2{,}1$ „ $n = 1100$

gesetzt wird.

Digitized by Google

m und n sind unter Annahme ziemlich ungünstiger Verhältnisse für Dampftemperatur, latente Wärme und Temperatur der die Rohrleitung umgebenden Luft bestimmt worden.

Zur probeweisen Annahme von d für Einführung eines Werthes von D in die Gleichungen dient wiederum die Tabelle 18.

Wenn nicht ungewöhnlich viel einmalige Widerstände vorhanden sind und der Rohrdurchmesser nach Berechnung derselben eine Aufrundung auf Handelsmafs erfahren muss (was meist der Fall sein wird), so kann die Berechnung hiermit als abgeschlossen betrachtet werden, andernfalls sind die einmaligen Widerstände genau wie in Fall 1, Theilstrecke 2, in Berücksichtigung für den Durchmesser zu ziehen. Es ist dann in die Gl. 221 bezw. 222 nicht p_2, sondern $p_2 - p_2'' = p_2'$ einzuführen und zunächst p_2'' wieder nach Gl. 217 zu berechnen oder, wenn W gegeben ist, gemäss Gl. 209 nach dem Ausdrucke:

$$p_2'' = \frac{(W + n D l)^2 \Sigma\zeta}{(2550\, d)^4 \gamma}. \qquad (223)$$

Zur weiteren Erleichterung der Berechnung dient Tabelle 21, in der für die verschiedenen Rohrweiten der äussere Durchmesser D und die Werthe von $1100\, D$, $5200\, D$ und $\frac{10000}{(2550\, d)^4}$ enthalten sind.

In den weitaus meisten Fällen, d. h. wenn nicht besonders grosse Gebäude vorliegen, nicht besonders viel einmalige Widerstände vorhanden sind und die Grösse der Endspannung des Dampfes nicht genau eingehalten werden muss, bedarf es nicht nur nicht der Berechnung des Einflusses der einmaligen Widerstände, da diese durch Erhöhung der ausgerechneten Durchmesser auf Handelsmafs reichlich gedeckt werden, sondern überhaupt keiner Berechnung. Es können unter Annahme des Druckabfalls nach Massgabe der zu fördernden Wärmemenge die Rohrdurchmesser für Anschlag und Ausführung der Tabelle 18 entnommen werden, besonders wenn man der Sicherheit halber den der zu fördernden Wärmemenge zunächst liegenden grösseren Durchmesser wählt.

Alles Weitere zeigen die Beispiele.

C) Beispiele zur Berechnung einer Hochdruckdampfleitung.

Beispiel 1. Aufgabe. Die Vertheilungsleitung eines Fernheizwerks ist zu berechnen (s. Fig. 66). Bei A, B', C' und D' liegen Gebäude, in die der Dampf

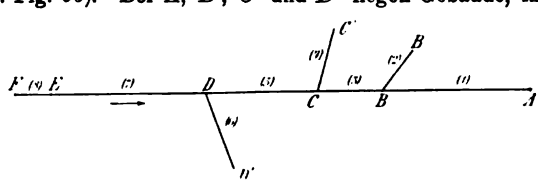


Fig. 66.

Digitized by Google

mit einer Spannung von 2,5 Atm. absol. einzutreten hat, bei E liegt der Dampfvertheiler, bei F der Kessel. Die Dampfspannung im Vertheiler soll nicht mehr als 7,5 Atm. absol., in den Kesseln 8 Atm. absol. betragen. Die Rohrleitungen liegen in begehbaren Kanälen und sind vor Wärme-Abgabe durch Seidenumhüllung geschützt. Die stündlich in den einzelnen Theilstrecken zu fördernden Wärmemengen, die Längen der einzelnen Theilstrecken und die Summe der einzelnen Widerstände (s. S. 302) gehen aus der folgenden Aufstellung hervor.

Theilstrecke No.	Stündlich zu fördernde Wärme in WE	Länge der Rohrleitung in m	Summe der einmaligen Widerstände ($\Sigma\zeta$)
1	750 000	200	6
2	1 050 000	70	3
3	1 800 000	88	4
4	800 000	90	7
5	2 600 000	156	6
6	1 100 000	110	5
7	3 700 000	210	8
8	3 700 000	50	5

Lösung der Aufgabe. **a) Annahme der Rohrweiten.** Für den Kostenanschlag und zur Unterlage für die genaue Berechnung ist zunächst das gesammte Rohrnetz nach Tabelle 18 zu dimensioniren. Bei sehr ausgedehnten Rohrnetzen — jedoch nur bei diesen — sind auch die angenäherten Wärmeverluste aller Theilstrecken zu bestimmen, da die näher dem Kessel liegenden die Wärmeverluste der entfernteren Theilstrecken zu decken, also entsprechend mehr Wärme, als nutzbar gefordert wird, zu liefern haben. Die Bestimmung der angenäherten Wärmeverluste eines vor Wärme-Abgabe gut geschützten Rohres kann für eine Summe aus Anfangs- und Enddruck des Dampfes

bis 70000 kg nach dem Ausdrucke: $W' = 1000\,Dl$,
über 70000 „ „ „ „ : $W' = 1100\,Dl$,

erfolgen.

Da der Preis der Rohre nicht proportional mit dem Durchmesser, sondern schneller wächst, da auch mit der Weite der Rohre der Preis und die Schwierigkeit der Lagerungen, Kompensationen und der Montage zunehmen, dagegen die Sicherheit gegen Undichtheiten u. s. w. sich vermindert, so wird man, wie bereits erwähnt, meist gut thun, die Druckzunahme für das laufende Meter nach dem Kessel hin ansteigen zu lassen.

Der Druck im Vertheiler bei E soll (7,5 Atm. absol.) 77498 kg (s. Tabelle 17), der Druck bei A, B' C' und D' (2,5 Atm. absol.) 25883 kg betragen. Es möge der Druckabfall für das laufende Meter angenommen werden für die:

Theilstrecke 7: 125 kg, somit ein Druck in D: $77498 - 210 \cdot 125 = 51248$ kg,
„ 5: 100 „, „ „ „ „ C: $51248 - 156 \cdot 100 = 35648$ „,
„ 3: 60 „, „ „ „ „ B: $35648 - 88 \cdot 60 = 29398$ „.

Es bleibt somit ein Druckabfall für das laufende Meter übrig für:

Theilstrecke 1: $\frac{29398 - 25833}{200} = 17{,}8$ kg,
„ 2: $\frac{29398 - 25833}{70} = 50{,}9$ „,
„ 4: $\frac{35648 - 25833}{90} = 109{,}0$ „,
„ 6: $\frac{51248 - 25833}{110} = 231{,}0$ „.

Digitized by Google

Für die Aufsuchung der Rohrdurchmesser in Tabelle 18 dient dann folgende Aufstellung:

Theilstrecke No.	Zu fördernde Wärme. (Nutzbar geforderte + Verluste der weiter vom Kessel entfernten Theilstrecken) WE	Summe aus Anfang- und Enddruck des Dampfes kg	Druckabfall auf d. lauf. Meter kg	Rohrdurchmesser in m (nach Tab. 18) innerer	äusserer	Wärmeverlust (angenähert) WE
1	750 000	55 231	17,8	0,111	0,120	24 000
2	1 050 000	55 231	50,9	0,106	0,114	7 980
3	1 800 000 / 31 980	65 046	60,0	0,119	0,127	11 176
4	800 000	61 481	109,0	0,082	0,089	8 010
5	2 600 000 / 51 166	86 896	100,0	0,119	0,127	21 793
6	1 100 000	77 081	231,0	0,076	0,083	10 043
7	3 700 000 / 83 002	128 746	125,0	0,131	0,140	32 340
8	3 700 000 / 115 342	160 162	83,3	0,131	0,140	7 700

Die Rechnung hat nun zu erweisen, in wie weit die nach Tabelle 18 angenommenen Rohrdurchmesser beibehalten werden können oder geändert werden müssen, gleichzeitig also auch, welcher Werth der Tabelle 18 beizumessen ist.

b) Berechnung der Rohrweiten. Theilstrecke 1. (Die Bedeutung der Buchstaben s. S. 304.)

In derselben ist der Aufgabe entsprechend zu setzen:

$W = 750\,000$,
$p_1 = 25\,833$,
p_2 zu berechnen,
d (angenommen und beizubehalten) $= 0{,}111$,
$D = 0{,}120$,
t_m (für $\frac{25\,833 + 29\,398}{2}$ kg Druck) $= 130$ (als Anfangsdruck p_2 für Bestimmung von t_m ist der bei Wahl der Rohrdurchmesser nach Tabelle 18 angenommene in Betracht gezogen, s. obige Zusammenstellung,
$\lambda_m = 515$,
$\lambda = 516{,}73$,
$\frac{1}{\gamma} = 0{,}7$,
$l = 200$,
$\Sigma\zeta = 6$,
k (bei Seidenumhüllung ist bei genügender Stärke derselben 80 % an Wärmeverlust gegenüber dem unbekleideten Rohre zu sparen) $= \frac{14\,(100 - 80)}{100} = 2{,}8$.

Zur Anwendung kommt Gl. 214, für die vorherige Bestimmung von Q und Q' dienen die Gleichungen 211, 212 und 213.

Digitized by Google

Nach Gl. 212 ist:

$$Q = \frac{W}{\lambda} = \frac{750\,000}{516{,}73} \sim 1452 \text{ kg},$$

nach Gl. 211 der Wärmeverlust in der Theilstrecke:

$$W' = 0{,}120 \cdot 3{,}14 \cdot 200 \cdot 2{,}8\,(130 - 25) = 22145\ WE,$$

sofern die Temperatur im Rohrkanale zu

$$t_z = 25^0$$

angenommen wird.

Ferner ist nach Gl. 213:

$$Q' = \frac{W'}{\lambda_m} = \frac{22145}{515} = 43 \text{ kg}.$$

Es ergiebt sich dann nach Gl. 214:

$$p_2 = \sqrt{\frac{25160 \cdot 200}{(100 \cdot 0{,}111)^5}\left\{3 \cdot 1452^2 + 43\,(3 \cdot 1452 + 43)\right\} + (25833 + 3060)^2 - 3060 + \frac{(1452 + 43)^2 \cdot 6 \cdot 0{,}7}{(111{,}9 \cdot 0{,}111)^4}} = 29417 \text{ kg}.$$

Theilstrecke 2.

$W = 1\,050\,000$,
$p_1 = 25\,833$,
$p_2 = 29\,062$ (der durch Theilstrecke 1 festgestellte Druck in B),
d (angenommen, durch die Berechnung jedoch festzustellen) $= 0{,}106$,

$D = 0{,}114$,

$t_m = (\text{für } \frac{25\,833 + 29\,062}{2} \text{ kg Druck}) = 130$,

$\lambda_m = 515$,
$\lambda = 516{,}73$,

$\frac{1}{\gamma} = 0{,}7$,
$l = 70$
$\Sigma\zeta = 3$,
$k = 2{,}8$ (wie bei Theilstr. 1),
$t_z = 25$ (wie bei Theilstr. 1).

Es ist nach Gl. 212:

$$Q = \frac{1\,050\,000}{516{,}73} = 2032 \text{ kg},$$

nach Gl. 211:

$$W' = 0{,}114 \cdot 3{,}14 \cdot 70 \cdot 2{,}8\,(130 - 25) = 7210\ WE,$$

nach Gl. 212:

$$Q' = \frac{7210}{515} = 14 \text{ kg}.$$

Ohne Berücksichtigung der einmaligen Widerstände ist nach Gl. 215:

$$d = 0{,}0759 \sqrt[5]{\frac{70\left\{3 \cdot 2032^2 + 14\,(3 \cdot 2032 + 14)\right\}}{(29417 - 25833)(29417 + 25833 + 6120)}} = 0{,}1 \text{ m},$$

oder nach Gl. 216:

$$d = 0{,}0945 \sqrt[5]{\frac{70 \cdot 2052\,(2032 + 14)}{(29417 - 25833)(29417 + 25833 + 6120)}} = 0{,}0999 \text{ m}.$$

Der Unterschied der Ergebnisse dieser beiden Gleichungen ist so gering, dass in der Folge nur die einfachere Gl. 216 in Anwendung kommen soll.

Bei Berücksichtigung der einmaligen Widerstände ist zunächst nach Gl. 217:

$$p_2'' = \frac{(2032 + 14)^2 \cdot 3 \cdot 0{,}7}{(111{,}9 \cdot 0{,}106)^4} = 444 \text{ kg},$$

Digitized by Google

ferner nach Gl. 218:

$$p_2' = 29417 - 444 = 28973,$$

und somit nach Gl. 220:

$$d = 0{,}0945 \sqrt[5]{\frac{70 \cdot 2032\,(2032 + 14)}{(28973 - 25833)\,(28618 + 25833 + 6120)}} = 0{,}1028 \text{ m}.$$

Der Durchmesser ohne Berücksichtigung der einmaligen Widerstände ist genau Handelsmafs, infolge dessen muss wegen des Vorhandenseins einmaliger Widerstände der nächst grössere und nach der Tabelle 18 angenommene Durchmesser 0,106 m gewählt werden. Eine Berechnung mit Berücksichtigung der einmaligen Widerstände wäre somit, wie die betreffende Rechnung ergiebt, nicht nöthig gewesen, denn auch durch diese ist das Handelsmafs $d = 0{,}106$ längst nicht erreicht worden.

Theilstrecke 3. (Berechnung wie Theilstrecke 1.)

$W = 1800000$ + (Wärmeverlust von Theilstr. 1 und 2) $22145 + 7210 = 1829345$

$p_1 = 29417$,	$\lambda = 513$,
p_2 (zu berechnen),	$\frac{1}{\gamma} = 0{,}6$,
d (angenommen und beizubehalten) $= 0{,}119$,	$l = 88$,
$D = 0{,}127$,	$\Sigma\zeta = 4$,
t_m (für $\frac{29417 + 35648}{2}$ kg Druck) $= 135$,	$k = 2{,}8$,
$\lambda_m = 511$,	$t_s = 25$.

Es ist:

$$Q = \frac{1829345}{513} = 3566 \text{ kg},$$

$$W' = 0{,}127 \cdot 3{,}14 \cdot 88 \cdot 2{,}8\,(135 - 25) = 10809\ WE,$$

$$Q' = \frac{10809}{511} = 21,$$

$$p_2 = \sqrt{\frac{25160 \cdot 88}{(100 \cdot 0{,}119)^5}\left\{3 \cdot 3566^2 + 21\,(3 \cdot 3566 + 21)\right\} + (29417 + 3060)^2 - 3060 + \frac{(3566 + 21)^2 \cdot 4 \cdot 0{,}6}{(111{,}9 \cdot 0{,}119)^4}} = 35482 \text{ kg}.$$

Theilstrecke 4. (Berechnung wie Theilstrecke 2.)

$W = 800000$,	$\lambda = 516{,}73$,
$p_1 = 25833$,	$\frac{1}{\gamma} = 0{,}7$,
$p_2 = 35482$,	$l = 90$,
d (gewählt, durch Rechnung zu prüfen) $= 0{,}082$,	$\Sigma\zeta = 7$,
$D = 0{,}089$,	$k = 2{,}8$,
t_m (für $\frac{25833 + 35482}{2}$ kg Druck) $= 134$,	$t_s = 25$.
$\lambda_m = 512$,	

Es ist:

$$Q = \frac{800000}{516{,}73} = 1548 \text{ kg},$$

$$W' = 0{,}089 \cdot 3{,}14 \cdot 90 \cdot 2{,}8\,(134 - 25) = 7687\ WE,$$

$$Q' = \frac{7687}{512} = 15 \text{ kg}.$$

Digitized by Google

Bei Berücksichtigung der einmaligen Widerstände:

$$p_2'' = \frac{(1548+15)^2 \cdot 7 \cdot 0{,}7}{(111{,}9 \cdot 0{,}082)^4} = 1689 \text{ kg},$$

$$p_2' = 35482 - 1689 = 33793 \text{ kg},$$

$$d = 0{,}0945 \sqrt[5]{\frac{90 \cdot 1548\,(1548+15)}{(33793-25833)(33793+25833+6120)}} = 0{,}079 \text{ m}.$$

Theilstrecke 5. (Berechnung wie Theilstrecke 1 und 3.)

$W = 2600000 +$ (Wärmeverluste der Theilstrecken 1 bis 4) $47851 = 2647851$,

$p_1 = 35482$,	$\lambda = 509$,
p_2 (zu berechnen),	$\frac{1}{\gamma} = 0{,}52$,
d (angenommen und beizubehalten) $= 0{,}119$,	$l = 156$,
$D = 0{,}127$,	$\Sigma\zeta = 6$,
t_m (für $\frac{35482+51248}{2}$ kg Druck) $= 145$,	$k = 2{,}8$,
$\lambda_m = 504$,	$t_s = 25$.

Es ist:

$$Q = \frac{2647851}{509} = 5202 \text{ kg},$$

$$W' = 0{,}127 \cdot 3{,}14 \cdot 156 \cdot 2{,}8\,(145-25) = 21396\ WE,$$

$$Q' = \frac{21396}{504} = 42 \text{ kg},$$

$$p_2 = \sqrt{\frac{25160 \cdot 156}{(100 \cdot 0{,}119)^5}\left\{3 \cdot 5202^2 + 42\,(3 \cdot 5202 + 42)\right\} + (35482+3060)^2 - 3060 + \frac{(5202+42)^2 \cdot 6 \cdot 0{,}52}{(111{,}9 \cdot 0{,}119)^4}} = 52882 \text{ kg}.$$

Theilstrecke 6. (Berechnung wie Theilstrecke 2 und 4.)

$W = 1100000$,	$\lambda = 516{,}73$,
$p_1 = 25833$,	$\frac{1}{\gamma} = 0{,}7$,
$p_2 = 52882$,	$l = 110$,
d = (gewählt, durch Rechnung zu prüfen) $= 0{,}076$,	
$D = 0{,}083$,	$\Sigma\zeta = 5$,
$t_m = 142$,	$k = 2{,}8$,
$\lambda_m = 506$,	$t_s = 25$.

Es ist:

$$Q = \frac{1100000}{516{,}73} = 2129 \text{ kg},$$

$$W' = 0{,}083 \cdot 3{,}14 \cdot 110 \cdot 2{,}8\,(142-25) = 9392\ WE,$$

$$Q' = \frac{9392}{506} = 19 \text{ kg}.$$

Bei Berücksichtigung der einmaligen Widerstände:

$$p_2'' = \frac{(2129+19)^2 \cdot 5 \cdot 0{,}7}{(111{,}9 \cdot 0{,}076)^4} = 3088 \text{ kg},$$

Digitized by Google

$$p_2' = 52882 - 3088 = 49794 \text{ kg},$$

$$d = 0{,}0945 \sqrt[5]{\frac{110 \cdot 2129\,(2129 + 19)}{(49794 - 25833)\,(49794 + 25833 + 6120)}} = 0{,}072 \text{ m}.$$

Theilstrecke 7. (Berechnung wie Theilstrecke 2, 4 und 6, da im Vertheiler ein bestimmter Druck nicht überschritten werden darf.)

$W = 3700000 +$ (Wärmeverluste der Theilstrecken 1 bis 6) $78639 = 3778639$,

$p_1 = 52882$,	$\lambda = 499$,
p_2 (zu berechnen),	$\frac{1}{\gamma} = 0{,}36$,
d (angenommen und beizubehalten) $= 0{,}131$,	$l = 210$,
$D = 0{,}140$,	$\Sigma\zeta = 4$,
$t_m \left(\text{für } \frac{52882 + 77498}{2}\right) = 161$,	$k = 2{,}8$,
$\lambda_m = 492$,	$t_s = 25$.

Es ist:

$$Q = \frac{3778639}{499} = 7572 \text{ kg},$$

$$W' = 0{,}14 \cdot 3{,}14 \cdot 210 \cdot 2{,}8\,(161 - 25) = 35154\ WE,$$

$$Q' = \frac{35154}{492} = 71 \text{ kg}.$$

Bei Berücksichtigung der einmaligen Widerstände:

$$p_2'' = \frac{(7572 + 71)^2 \cdot 8 \cdot 0{,}36}{(111{,}9 \cdot 0{,}131)^4} = 3643 \text{ kg},$$

$$p_1'' = 77498 - 1643 = 73855 \text{ kg},$$

$$d = 0{,}0945 \sqrt[5]{\frac{210 \cdot 7572\,(7572 + 71)}{(73855 - 52882)\,(73855 + 52882 + 6120)}} = 0{,}1269 \text{ m}.$$

Der Durchmesser ist auf 0,131 (Handelsmaſs) zu erhöhen, es kann aber der Druck im Vertheiler geringer als zu 7,5 Atm. angenommen werden, d. h. zu:

$$p_2 = \sqrt{\frac{25160 \cdot 210}{(100 \cdot 0{,}131)^5}\left\{3 \cdot 7572^2 + 71\,(3 \cdot 7572 + 71)\right\} + (52882 + 3060)^2} - 3060 + \frac{(7572 + 71)^2 \cdot 8 \cdot 0{,}36}{(111{,}9 \cdot 0{,}131)^4} = 74794 \text{ kg}.$$

Theilstrecke 8. (Berechnung wie Theilstrecke 2, 4 und 6.)

Da der im Vertheiler erforderliche Druck nur 74794 kg betragen muss, der Annahme nach der Tabelle 18 aber ein solcher von 77498 kg zu Grunde gelegen hat, so könnte es sein, dass der Durchmesser unter Ausnutzung des berechneten Drucks kleiner gemacht werden darf. Jedenfalls ist Anfangs- und Enddruck vorgeschrieben und somit der Durchmesser zu berechnen.

$W = 3700000 +$ (Wärmeverluste aller früheren Theilstrecken) $113793 =$
$= 3813793\ WE.$

Digitized by Google

$p_1 = 74794,$
$p_2 = 82664,$
d (gewählt, durch Rechnung zu prüfen) $= 0{,}131,$
$D = 0{,}140,$
$t_m \left(\text{für } \frac{74794 + 82664}{2}\right) = 169,$
$\lambda_m = 487,$
$\lambda = 488$
$\frac{1}{\gamma} = 0{,}27,$
$l = 50,$
$\Sigma\zeta = 5,$
$k = 2{,}8,$
$t_x = 25.$

Es ist:

$$Q = \frac{3813793}{488} = 7815 \text{ kg},$$
$$W' = 0{,}14 \cdot 3{,}14 \cdot 50 \cdot 2{,}8\,(169 - 25) = 8855\ WE,$$
$$Q' = \frac{8855}{487} = 18 \text{ kg},$$

Bei Berücksichtigung der einmaligen Widerstände:

$$p_2'' = \frac{(7815 + 18)^2 \cdot 5 \cdot 0{,}27}{(111{,}9 \cdot 0{,}131)^4} = 1794 \text{ kg},$$
$$p_2' = 82664 - 1794 = 80870,$$
$$d = 0{,}0945 \sqrt[5]{\frac{50 \cdot 7815\,(7815 + 18)}{(80870 - 74794)(80870 + 74794 + 6120)}} = 0{,}1186 \text{ m}.$$

Hierdurch ist der Fall eingetreten, der auf S. 308 als ein derartiger bezeichnet worden ist, dass eine Wiederholung der Rechnung angestellt werden muss. d ist mit 0,1186 nahezu Handelsmafs. Nach der Tabelle 18 war $d = 0{,}131$ anzunehmen, somit wird für dieses p_2'' kleiner als das berechnete, dagegen p_2' grösser, das berechnete d ist also voraussichtlich etwas zu klein. Nimmt man nunmehr den berechneten Durchmesser von $d = 0{,}119$ m an und wiederholt die Rechnung, dann ergiebt sich:

Q (wie vorher) $= 7815$ kg,
$$W' = 0{,}127 \cdot 3{,}14 \cdot 50 \cdot 2{,}8\,(169 - 25) = 8039\ WE,$$
$$Q' = \frac{8039}{487} = 17 \text{ kg}.$$
$$p_2'' = \frac{(7815 + 17) \cdot 5 \cdot 0{,}27}{(111{,}9 \cdot 0{,}119)^4} = 2640 \text{ kg},$$
$$p_2' = 82664 - 2640 = 80024 \text{ kg},$$
$$d = 0{,}0945 \sqrt[5]{\frac{50 \cdot 7815\,(7815 + 17)}{(80024 - 74794)(80024 + 74794 + 6120)}} = 0{,}1239 \text{ m}.$$

Man ersieht, dass der Durchmesser, nicht wie erst berechnet, zu 0,119 m, sondern zu 0,1239 m, d. h. auf Handelsmafs abgerundet zu 0,131 m angenommen werden muss; hieraus ersieht man die Wichtigkeit der Wiederholung der Rechnung bei dem auf S. 308 angegebenen Falle.

Durch dieses Beispiel ist der Werth der Tabelle 18 für die Praxis erwiesen, dieselbe hat für ziemlich ausgedehnte Rohrleitungen genau mit der Berechnung übereinstimmende Werthe ergeben. Würden die einmaligen Widerstände jedoch wesentlich grösser als angenommen gewesen sein, so hätte vielleicht eine Theilstrecke reichlicher bemessen werden müssen; auch für sonstige andere Verhältnisse können Unterschiede in den Durchmessern nach der Tabelle und nach der Berechnung sich ergeben, so dass stets eine genaue Berechnung geboten ist. Die

Digitized by Google

Tabelle soll einen Anhalt bei der Berechnung geben, sie kann aber unter keinen Umständen die Berechnung ersetzen.

Die gesammten in dem Rohrnetze stündlich eintretenden Wärmeverluste betrugen nach angenäherter Berechnung 123042 *WE*, nach genauer Berechnung 122648 *WE*, die Werthe sind also fast übereinstimmend. Diese Wärmeverluste sind in der Wirklichkeit noch etwas grösser, als berechnet, da die Flanschen der Röhren und sonstigen Apparate ebenfalls noch Wärme abgeben, die bei der Berechnung nicht berücksichtigt worden sind. Diese Wärmeverluste werden durch die Aufrundung der berechneten Durchmesser auf Handelsmafs reichlich gedeckt. Nutzbar zu fördern waren in dem Beispiele 3700000 *WE*, die berechneten Wärmeverluste machen somit rund 3,32 % aus, wofür also in Wirklichkeit etwa 4 % anzunehmen sein dürfte.

Beispiel 2. Aufgabe. Von einem Dampfvertheiler ist eine Dampfmaschine mit Dampf zu versorgen. Die Spannung im Vertheiler beträgt 7,5 Atm. absol., die Maschine benöthigt eine Spannung von 7 Atm. absol. und stündlich 1000 kg Dampf. Die Länge der Rohrleitung beträgt 52 m, dieselbe ist vor Wärme-Abgabe gut geschützt.

Lösung der Aufgabe. Der Druck im Vertheiler beträgt bei 7,5 Atm. absol. nach Tabelle 17: 77498 kg, an der Maschine: 72331 kg, der Druckabfall somit 5167 kg im Ganzen und rund 100 kg auf das laufende Meter. Nach Tabelle 18 ist daher, da die Summe des Anfangs- und Enddrucks 149829 kg, die latente Wärme des Dampfes (nach Tabelle 17) an der Maschine 489,69 *WE*, somit bei 1000 kg Dampf die im Dampfe enthaltene Wärmemenge 489690 *WE* beträgt, ein Rohrdurchmesser von 0,057 m zu wählen.

Es ist also zu setzen:

$$Q = 1000, \qquad \lambda = 489{,}7,$$
$$p_1 = 72331, \qquad \frac{1}{\gamma} = 0{,}265,$$
$$p_2 = 77498, \qquad l = 52,$$
$$d \text{ (probeweise)} = 0{,}057, \qquad \Sigma\zeta = 10,$$
$$D = 0{,}063, \qquad k = 2{,}8 \text{ (wie im Beispiele 1)},$$
$$t_m \left(\text{für } \frac{72331 + 77498}{2}\right) = 167, \qquad t_s = 20.$$
$$\lambda_m = 489,$$

Es ergiebt sich:

$$W' = 0{,}063 \cdot 3{,}14 \cdot 52 \cdot 2{,}8\,(167 - 20) = 4236\ WE,$$
$$Q' = \frac{4236}{489} \sim 9 \text{ kg},$$
$$p_2'' = \frac{(1000 + 9)^2 \cdot 10 \cdot 0{,}265}{(111{,}9 \cdot 0{,}057)^4} = 1668 \text{ kg},$$
$$p_2' = 77498 - 1668 = 75830 \text{ kg},$$

und unter Berücksichtigung der einmaligen Widerstände:

$$d = 0{,}0945 \sqrt[5]{\frac{52 \cdot 1000\,(1000 + 9)}{75830 - 72331)(75830 + 72331 + 6120)}} = 0{,}059 \text{ m}.$$

In diesem Falle hat also die Tabelle einen Rohrdurchmesser ergeben, der um 2 mm zu klein ist, was auf die absichtlich gross gewählten Widerstände und den geringen Spannungsabfall zurückzuführen ist. Da 0,059 m kein Handelsmafs ist, muss der Durchmesser auf 0,064 m erhöht werden.

Beispiel 3. Aufgabe. Von dem Vertheiler der Heizungsanlage innerhalb eines Gebäudes soll Dampf von 3 Atm. absol. Anfangsspannung nach einer Heiz-

Digitized by Google

kammer geleitet werden. Der Heizkörper erfordert Dampf von 2 Atm. absol. und soll 50000 *WE* abgeben. Die Länge der gut vor Wärme-Abgabe geschützten Rohrleitung beträgt 70 m, die einmaligen Widerstände $\Sigma\zeta = 3$.

Lösung der Aufgabe. Für die Berechnung des Rohrdurchmessers kann Gl. 222 benutzt werden. Nach Tabelle 18 ergiebt sich bei einem Anfangsdrucke (3 Atm. absol.) von 30999 kg und einem Enddrucke (2 Atm. absol.) von 20666 kg, also einem Spannungsabfalle von $\frac{30999 - 20666}{70} \sim 147$ kg für das laufende Meter und einer Summe aus Anfangs- und Enddruck von 51665 kg für 50000 *WE* ein Rohrdurchmesser von 0,025 m.

Es ist also zu setzen:

$W = 50000$,
$p_1 = 20666$,
$p_2 = 30999$,
d (probeweise) $= 0{,}025$,
$D = 0{,}033$,
t_m (für $\frac{20666 + 30999}{2}$) $= 128$,
$\lambda_m = 516$,
$\lambda = 522$,
$\frac{1}{\gamma} = 0{,}86$,
$l = 70$,
$\Sigma\zeta = 3$.

Es ergiebt sich ohne Berücksichtigung der einmaligen Widerstände:

$$d = 0{,}00775 \sqrt[5]{\frac{50000 \cdot 70\,(50000 + 1100 \cdot 0{,}033 \cdot 70)}{(30999 - 20666)(30999 + 20666 + 6120)}} = 0{,}02437 \text{ m},$$

mit Berücksichtigung der einmaligen Widerstände:

$$p_2'' = \frac{(50000 + 1100 \cdot 0{,}033 \cdot 70)^2 \cdot 3 \cdot 0{,}86}{(2550 \cdot 0{,}025)^4} = 43 \text{ kg},$$

$$p_2' = 30999 - 43 = 30056 \text{ kg}$$

und

$$d = 0{,}00775 \sqrt[5]{\frac{50000 \cdot 70\,(50000 + 1100 \cdot 0{,}033 \cdot 70)}{(30956 - 20666)(30956 + 20666 + 6120)}} = 0{,}02449 \text{ m}.$$

Der Durchmesser ist in beiden Fällen auf 0,025 m aufzurunden, die Annahme der Tabelle 18 war also gerechtfertigt.

Wären die einmaligen Widerstände sehr bedeutende gewesen, so hätte die Tabelle einen zu kleinen Durchmesser ergeben; es ist also in allen solchen Fällen, d. h. bei grossen einmaligen Widerständen und geringen Spannungsabfällen, wie die sämmtlichen Beispiele ergeben, gut, von Haus aus dann das nächst grössere Handelsmafs als das der Tabelle entnommene in Ansatz zu bringen.

VIII. Berechnung der Niederschlagswasserleitungen.

1 cbm Dampf von 100° wiegt 0,6059 kg, 1 cbm Wasser von 100° wiegt 958 kg, der Dampf von 100° nimmt also 1581 mal soviel Raum ein als Wasser von derselben Temperatur.

Trotz dieser bedeutenden Unterschiede können die Durchmesser der Rohrleitung nicht entsprechend klein gewählt werden, da für Bestimmung der Dampfleitung stillschweigend angenommen worden ist,

Digitized by Google

dass das Niederschlagswasser von selbst abfliesst, also der Bewegung des Dampfes keinen Widerstand entgegensetzt.

Von dieser Annahme ausgehend, müssten die Durchmesser berechnet werden, indess geschieht dies in der Praxis nicht, ist auch nicht erforderlich, da die Röhren schon aus dem Grunde schneller Entlüftung weiter gemacht werden müssen, als zur Ableitung des Niederschlagswassers allein erforderlich wäre.

Wünschenswerth ist es, dass die Durchmesser zu den Durchmessern der Dampfzuleitung in einem möglichst gleichbleibenden Verhältnisse stehen.

Für senkrechte Leitungen setze man:

$$d_1 = 0{,}5\, d, \tag{224}$$

für wagerechte Leitungen:

$$d_1 = 0{,}7\, d, \tag{225}$$

wenn d den lichten Durchmesser des Dampfrohres, d_1 denjenigen des zugehörigen Rohres für das Niederschlagswasser bedeutet.

Für Dampfröhren unter 0,025 m Durchmesser nehme man den Durchmesser der Niederschlagswasserleitung gleich dem Durchmesser der Dampfleitung an.

Selbstverständlich bezieht sich das Vorstehende nur auf die Rohre zur Ableitung des in den Heizkörpern niedergeschlagenen Wassers. Dampfleitungen von grösserer horizontaler Ausdehnung müssen ebenfalls zeitweise Entwässerung erfahren, für diese ist also der Rohrdurchmesser nicht nach der angegebenen Regel, sondern nach der Menge des sich in der Rohrleitung bildenden Niederschlagswassers, besonders beim Anlassen des Dampfes, und unter dem Gesichtspunkte zu bestimmen, dass die Luft beim Anlassen rasch entweichen kann. Es wird für diese Zwecke also fast immer ein Rohr von 0,011 bis höchstens 0,025 m Durchmesser genügen.

Bei mehreren Gebäuden, in denen das Niederschlagswasser zunächst nach besonderen Gefässen gehoben wird, um von diesen durch natürliches Gefälle einer gemeinsamen Rückleitung nach dem Kesselhause zuzufliessen, ist es, wie bereits auf S. 297 betont, erwünscht, die Aufstellung der Gefässe der verschiedenen Gebäude in einer gemeinsamen Horizontalebene zu bewirken, um bei einer Störung in der gemeinsamen Leitung nicht ein Ueberlaufen des Wassers aus einem niedriger stehenden Gefässe befürchten zu müssen. Die Berechnung der Rohrleitungen für die Rückführung des Wassers nach dem Kesselhause hat dann wie eine einfache Wasserleitung zu erfolgen und kann genau in der gleichen Weise wie bei der Wasserheizung Erledigung finden, nur ist statt der in Gl. 133 angegebenen wirksamen Druckhöhe ah die durch die Höhenlage der Gefässe bedingte Druckhöhe h einzuführen und zu setzen:

$$h = \frac{v^2}{2g}\left(1 + \frac{\varrho}{d}\, l + \Sigma\zeta\right)$$

Digitized by Google

und die erforderliche Geschwindigkeit aus der einfachen Gleichung:

$$v = \frac{V}{3600 f}$$

zu bestimmen, wenn V die zu fördernde stündliche Wassermenge in cbm, f den lichten Querschnitt der betreffenden Theilstrecke der Rohrleitung in qm bedeutet. In einem jeden Vereinigungspunkte zweier Wasserläufe muss von jedem derselben der gleiche Druck hervorgebracht werden, d. h. es muss der Unterschied zwischen der statischen Druckhöhe, vermindert um die bis zu dem Vereinigungspunkte bestehenden Widerstandshöhen, bei beiden Wasserläufen gleich gross sein.

Vierzehntes Kapitel.

Niederdruck-Dampfheizung.

(Siehe Tafel XVIII—XXII.)

I. Anwendungsgebiet der Niederdruck-Dampfheizung und Wahl der Spannung des Dampfes.

Dampf von niedriger Spannung kann entweder als solcher erzeugt oder aus Hochdruckdampf durch Verminderung der Spannung erhalten werden. Im ersten Falle ist die Wahl der Dampfspannung von gesetzlichen Bestimmungen unabhängig, nicht aber die Kesselanlage, im andern Falle lässt sich die Kesselanlage der behördlichen Genehmigung entziehen, alsdann aber kann die höchste zulässige Spannung nicht über 0,5 Atm. betragen (siehe Abschnitt III dieses Kapitels).

Da bei Anwendung sehr niedriger Dampfspannungen die schwerwiegendsten Nachtheile der Hochdruck-Dampfheizung in Wegfall kommen, so wird man, sofern nur die Beheizung und Lüftung eines Gebäudes in Frage steht, auch zur Erzielung noch anderer Vortheile, jederzeit die Dampfkessel in vorerwähnter Anordnung in Ausführung bringen.

Die Niederdruck-Dampfheizung — die als selbständiges System eingeführt zu haben ein Verdienst der Firma Bechem & Post ist — eignet sich zur Beheizung einzelner Gebäude und tritt in dieser Beziehung in Wettbewerb mit der Warmwasserheizung. Beide Systeme haben ihre Vorzüge und Nachtheile, die für ihre Anwendung ausschlaggebend sind. Die Niederdruck-Dampfheizung hat den Vorzug schnellerer Erwärmung der Heizkörper bei fast gleich sicherer Regelung der Wärme-Abgabe, sofern alle Heizkörper im Betriebe

Digitized by Google

stehen. Ist letzteres nicht der Fall, so gestaltet sich hierdurch mittelbar die Rohrleitung für die übrigen Heizkörper zu weit und es tritt dann leicht das sogenannte „Durchschlagen" des Dampfes, d. h. Eintreten des Dampfes durch einzelne Heizkörper in die Niederschlagswasserleitung und von dieser in andere Heizkörper, somit eine Störung in der Regelbarkeit ein. Man hat zur Abhilfe dieses Nachtheiles sogenannte Rückstauvorrichtungen des Niederschlagswassers ausgeführt, dadurch aber die Möglichkeit des Einfrierens der Heizkörper hervorgerufen. Damit der Vortheil der schnelleren Erwärmung der Heizkörper durch das hierdurch auch bedingte schnelle Erkalten derselben bei Einstellen des Betriebes nicht zum Nachtheile wird, richtet man in der Regel die Anlage mit Dauerbetrieb ein.

Die Niederdruck-Dampfheizung zeichnet sich ferner vor der Warmwasserheizung durch grössere Billigkeit aus, dagegen steht sie ihr zunächst nach durch das nicht immer zu vermeidende Geräusch des strömenden Dampfes und durch den Umstand, dass der Dampf jederzeit mindestens 100^0 warm ist und somit bei ausgedehnten und in hergebrachter Weise ausgeführten Anlagen die Regelung der Wärme-Abgabe der Heizkörper nur durch örtliche Regelung des Dampfzuflusses und nicht einheitlich durch Regelung der Dampfspannung — wie bei Warmwasserheizung durch die Temperatur des Kesselwassers — erfolgen kann. Es geht dies auch aus der Betrachtung der Gleichungen zur Berechnung der Rohrweiten hervor, wie unter V, 2 dieses Kapitels nachgewiesen ist. Nur durch entsprechende Anordnung und Bemessung der Rohrleitung lässt sich dieser Nachtheil auf ein gewisses Mafs herabsetzen.

Da der Dampf leichter als Luft ist, so sind nur bei vollem Betriebe die Heizkörper durchweg warm, bei Verminderung des Dampfzuflusses wird von unten ab die Heizfläche ausser Wirksamkeit gesetzt. Bei geringem Wärmebedarfe ist also nur der obere Theil der Heizkörper warm, was bezüglich der Gleichmässigkeit der Wärmevertheilung in den Räumen an sich nicht als günstig bezeichnet werden kann. Infolge dieses Umstandes sind hohe Heizkörper bei der Niederdruck-Dampfheizung nicht anzuwenden. Durch Einführung des Dampfes von unten in die Heizkörper anstatt von oben ist durch geeignete Vorrichtungen ein Mischen des Dampfes mit der zunächst in denselben befindlichen Luft und ein Umlauf des Gemisches möglich, wodurch eine gleichmässigere und entsprechend niedrigere Erwärmung der ganzen Wärmeflächen erzielt wird (Gebr. Körting), doch setzen die Heizkörper dann wieder eine solche Form voraus, dass die erwähnten Einrichtungen überhaupt möglich sind. Immerhin ist das Bestreben, die Wärme-Regelung und -Abgabe derjenigen der Warmwasserheizung ähnlich zu gestalten, freudig zu begrüssen und von besonderer Bedeutung, z. Z. ist die Vollkommenheit wie bei der Warmwasserheizung noch nicht erreicht.

Die Möglichkeit des Einfrierens der Warmwasserheizung ist in-

Digitized by Google

sofern bei der Niederdruck-Dampfheizung als ausgeschlossen zu betrachten, als der Dampf selbst nicht einfrieren kann. Wohl ist dies aber bei dem Niederschlagswasser möglich und steht leicht, ausser bei dem bereits erwähnten Falle, bei Anlagen zu erwarten, die sich während der Betriebsunterbrechung unter 0^0 abkühlen können (Luftheizungen, Kirchenheizungen u. s. w.). Das Einfrieren findet dann während des Anlassens der Anlage statt, weil der einströmende Dampf schnell kondensirt, das Niederschlagswasser aber in der abgekühlten Anlage nach kurzem Wege zum Gefrieren kommt.

Die Rohrleitung der Warmwasserheizung hat eine fast unbegrenzte Haltbarkeit, bei der Dampfheizung ist, wie bereits auf S. 297 mitgetheilt worden ist, die Gefahr des Rostens der Niederschlagswasserleitung vorhanden. Die ungünstigen Erfahrungen in dieser Beziehung haben bei der Niederdruck-Dampfheizung zu den sogenannten „sauerstoffarmen“ Anlagen geführt, d. h. zu Anlagen, bei denen beim Anlassen die Luft nicht nach aussen entweichen kann, sondern nach einem Sammelgefässe geführt wird, von dem sie bei Einstellung bezw. Verminderung des Betriebes ganz bezw. theilweise in die Rohrleitung und Heizkörper zurücktritt (System Käuffer). Man hoffte hierdurch den baldigen Verbrauch des Sauerstoffs der Luft infolge Oxydation des Eisens herbeizuführen und dadurch das fortschreitende Rosten des Eisens zu verhindern. Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass der Zweck hierdurch nicht erreicht wird, da besonders während des Sommers ein Austausch mit der Aussenluft nicht zu vermeiden ist; man sollte daher in der Praxis das Empfehlen der „sauerstoffarmen“ Heizungen aufgeben. Will man vor dem Verrosten der Niederschlagswasserleitung sicher sein, so muss man entweder dieselbe aus Kupfer herstellen, wodurch allerdings der Vortheil grösserer Billigkeit der Anlage gegenüber einer Warmwasserheizung verschwindet, oder die Anlage nach Beendigung des winterlichen Betriebes mit abgekochtem Wasser füllen.

Infolge der geringen Dampfspannungen lässt sich bei der Niederdruck-Dampfheizung das Niederschlagswasser unmittelbar, d. h. ohne Zwischenapparate nothwendig zu machen, dem Kessel wieder zuführen. Da nur Wasser in der Niederschlagswasserleitung stehen, also sämmtlicher Dampf vorher kondensirt sein soll, so muss das Wasser unterhalb des Dampfraumes in den Kessel eintreten. Naturgemäss steht dann, dem Dampfdrucke im Kessel entsprechend, das Wasser in der Niederschlagswasserleitung höher als im Kessel; je grösser die Dampfspannung, je höher ist die Wassersäule in dieser Leitung. Die Wassersäule darf selbstverständlich nicht bis in die Heizkörper hineinragen, infolgedessen muss die einzuhaltende Dampfspannung um so geringer sein, je geringer der senkrechte Abstand des Kessels von den ihm zugehörigen Heizkörpern ist.

Dieser Umstand, sowie die weiter unten zu erörternde bessere

Digitized by Google

Regelungsfähigkeit der Wärme-Abgabe der Heizkörper bei geringer Dampfspannung und das durch dieselbe ausserdem bedingte geräuschlosere Arbeiten der Anlage führt dahin, die Dampfspannung möglichst gering zu wählen. Man ist allmählich mit derselben immer mehr heruntergegangen, d. h. bis auf 0,05 Atm. und darunter. Empfehlenswerth ist diese geringe Spannung jedenfalls immer vor den Ventilen der Heizkörper, während in den Hauptleitungen eher eine etwas höhere Spannung (0,1—0,2 Atm.) herrschen kann. Das Geräusch des strömenden Dampfes tritt hauptsächlich bei plötzlich stattfindendem Spannungsabfalle ein, also bei Eintreten des Dampfes in die Heizkörper. Je grösser die Dampfspannung vor den Ventilen der Heizkörper ist, je kleiner muss der freie Durchgang der Ventile sein, um so grösser stellt sich der Spannungsabfall.

II. Allgemeine Anordnung einer Niederdruck-Dampfheizung.

Der Dampf ist vom Kessel aus — wie das Wasser einer Warmwasserheizung — zunächst in eine entweder über oder unter der Heizkörperanlage liegende Vertheilungsleitung zu führen; diese ist in der Richtung der Dampfbewegung mit Gefälle zu versehen. Wird die Vertheilungsleitung unter den Heizkörpern angeordnet, so ist bei derselben für öftere und sichere Entfernung des Niederschlagswassers Sorge zu tragen. Durch abfallende bezw. aufsteigende Stränge wird von der Vertheilungsleitung der Dampf den Heizkörpern zugeführt, mittels anderer Stränge das in den Heizkörpern sich bildende Niederschlagswasser abgeführt. Die beste Anordnung ist die in den Figuren 67 und 68 dargestellte. Früher führte man häufig das Niederschlagswasser der Heizkörper wieder den Dampfsträngen zu, d. h. man ordnete für Dampf und Wasser gemeinsame Stränge an. Es ist dies — auch bei der Vertheilung des Dampfes von oben — nicht zu empfehlen und wird auch kaum noch ausgeführt.

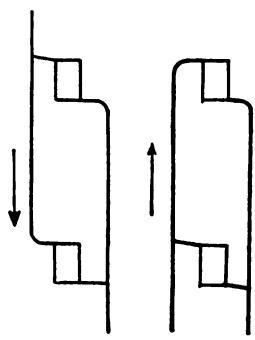


Fig. 67. Fig. 68.

Die Fallstränge des Niederschlagswassers werden unterhalb der Heizkörper (Kellergeschoss) zu einer Sammelleitung vereinigt, die mit dem Kessel in bereits angegebener Weise in Verbindung zu bringen ist. Die Sammelleitung kann höher oder tiefer als der Kessel liegen; sie wird gewöhnlich über dem Kessel angeordnet, um gleichzeitig durch sie die bequeme Entlüftung der Anlage bewirken zu können. Durch die Heizkörper bei der Dampfvertheilung von unten wird die unmittelbare Entwässerung der Vertheilungsleitung nach der Niederschlagswasserleitung erforderlich. Es werden dann an geeigneten Stellen, besonders an den Endpunkten der Vertheilungsleitung, Ver-

Digitized by Google

bindungen mit der Niederschlagswasserleitung hergestellt, dieselben aber, damit nicht der Dampf in die letztere übertreten kann, in Form von einem senkrechten auf- und absteigenden Rohre (Wasserschleife) hergestellt. Die Höhe dieser Wasserschleifen muss so gross sein, dass, wenn der Dampf in die eine Seite derselben eintritt und das Wasser verdrängt, die Wassersäule der andern Seite einen grösseren Druck als der Dampf ausübt, dieselbe somit den Durchgang des Dampfes verhindert.

Damit der Dampf vom Kessel aus nach den Heizkörpern gelangen kann, muss eine Entlüftung derselben stattfinden. Diese kann gemeinsam erfolgen oder für jeden einzelnen Heizkörper vorgesehen werden. Liegt die Sammelleitung des Niederschlagswassers hoch genug über dem Kessel, d. h. wasserfrei, so kann, wie bereits erwähnt, durch diese die gemeinsame Entlüftung erfolgen, andernfalls muss für diese eine besondere Leitung angeordnet werden.

III. Die Dampfkessel einer Niederdruck-Dampfheizung.

(Siehe Tafel XVIII—XXI.)

1. Allgemeines (Verbrennungsregler).

Die Dampfkessel einer Niederdruck-Dampfheizung müssen dem Gesetze entsprechend „mit einem unverschliessbaren in den Wasserraum hinabreichenden Standrohre von nicht über 5 m Höhe und nicht über 8 cm Weite oder durch eine andere von der Centralbehörde des Bundesstaates genehmigte Sicherheitsvorrichtung“ verbunden sein. Aus der ersteren Bedingung folgt, dass die Dampfspannung höchstens 0,5 Atm. betragen kann, d. h. dass bei Ueberschreiten derselben das Kesselwasser aus dem Standrohre herausgedrückt wird.

Die zufriedenstellende Wirkung einer Niederdruck-Dampfheizung hängt wesentlich von der Einhaltung einer möglichst gleichmässigen Dampfspannung im Kessel ab. Da bei einer Heizungsanlage der Wärmebedarf grossen und oftmals fast plötzlichen Schwankungen unterworfen ist, so muss bei einer Niederdruck-Dampfheizung die Dampferzeugung diesen Schwankungen zwar möglichst schnell folgen, ohne aber eine wesentliche Steigerung oder Verminderung der Dampfspannung zu bedingen. Die hierfür nothwendige feine Regelung des Verbrennungsvorganges kann durch Hand nicht erzielt werden; infolgedessen sind selbstthätig wirkende Verbrennungsregler erforderlich. Dieselben bilden somit einen wichtigen Bestandtheil einer Niederdruck-Dampfheizung und beruhen auf der Nutzbarmachung jeder Abweichung von der geforderten Dampfspannung zur Steigerung oder Verminderung des Verbrennungsvorganges, d. h. zur Regelung des Luftzutrittes zu dem Brennmateriale. Diese Regelung kann entweder unmittelbar oder mittelbar durch Regelung des Abzugs der Verbren-

Digitized by Google

nungsgase erfolgen und zwar in letzterem Falle entweder durch entsprechende Drosselung des Querschnittes des Rauchkanals oder durch Veränderung der Zugkraft des Schornsteins infolge Einlassens entsprechender Mengen von Luft in denselben. Bei der unmittelbaren Regelung des Luftzutritts zum Brennmateriale kann die gewünschte Wirkung durch Undichtheiten des Kesselmauerwerkes, auch bei sehr weiten Schornsteinen durch Strömungen von aussen in dieselben eintretender Luft, beeinträchtigt werden, bei der Regelung des Abzugs der Verbrennungsgase dagegen kann bei plötzlich starker Verminderung des Wärmebedarfs ein Austreten der Rauchgase nach dem Heizraume erfolgen, auch wenn — was stets bei der Ausführung zu beobachten ist — ein gänzlicher Abschluss des Rauchabzugkanals durch den Verbrennungsregler nicht stattfinden kann.

Zumeist werden die betreffenden Apparate derartig konstruirt, dass sie gleichzeitig den Zutritt der Luft zu dem Brennmateriale und den Abzug der Rauchgase regeln, und zwar in der Weise, dass die zuerst genannte Regelung eine Voreilung gegen die andere besitzt.

Die Bethätigung der bisher bekannten Verbrennungsregler beruht theils auf einer infolge Steigerung des Dampfdrucks herbeigeführten Ausdehnung einer Membrane (meistens Gummi), theils auf der durch Steigerung des Dampfdrucks bewirkten Verdrängung einer Flüssigkeit. Bei Anwendung einer Membrane wirkt die Ausdehnung derselben auf eine Stellvorrichtung (Klappe u. s. w.), bei Verdrängung einer Flüssigkeit (Wasser, Quecksilber u. s. w.) kann dieselbe durch Gewichtsverschiebung oder durch Heben eines Schwimmers zur Bethätigung eines Bewegungsmechanismus in Wirkung treten. Auch das Kesselwasser selbst wird unmittelbar als Sperrflüssigkeit für den betr. Luft- oder Rauchkanal benutzt (Käuffer). Mehrfach findet auch in der Praxis das beim Ueberschreiten der zulässigen Spannung aus dem Standrohre herausgeworfene Wasser zum endgültigen Absperren der Verbrennungsluft Verwendung, so dass beim Versagen des Verbrennungsreglers, z. B. während der Nacht, das Feuer schliesslich zum Verlöschen gebracht und dadurch der Kessel vor dem Verbrennen geschützt wird.

Die Verbrennungsregler sollen derartig konstruirt sein, dass sie die Schwankungen des äusseren Luftdrucks in ihrem Einflusse auf das Zuströmen des Dampfes zu den Heizkörpern, sofern deren Regelung mit Hilfe des äusseren Luftdrucks erfolgt, ausgleichen, und die besten von diesen sind wiederum diejenigen, welche die wenigsten beweglichen Theile besitzen. Bewegliche Theile schliessen häufig nicht die Möglichkeit rascher Abnutzung oder des Versagens aus.

Ein Verbrennungsregler kann selbstverständlich seine Aufgabe nicht erfüllen, wenn nicht für gleichmässige Zufuhr des Brennmaterials nach Massgabe der Verbrennung Sorge getragen wird. Infolgedessen sind alle Feuerungen einer Niederdruck-Dampfheizung mit einem

Digitized by Google

entsprechend grossen Vorrathe von Brennmaterial auszustatten, d. h. also in der Regel als Schüttfeuerungen auszubilden.

Die Schüttfeuerung gestattet auch Nachtbetrieb, sofern die Kessel die genügende Menge Brennmaterial aufzunehmen vermögen. Ist Dauerbetrieb vorgeschrieben, so hat der ausführende Ingenieur auf die Erfüllung dieser Bedingung, d. h. darauf zu achten, dass ein Nachfüllen der Kessel während der Nacht, also innerhalb der Zeit von mindestens 7 Stunden, bei niedrigster Aussentemperatur nicht nöthig wird. Hierauf wird vielfach nicht genügend geachtet.

Die Anordnung eines Verbrennungsreglers bedingt die Ausstattung des Kessels mit hermetisch schliessender Feuer- oder Aschthür. Ausserdem ist noch jeder Kessel mit einem Wasserstandsanzeiger, einem Manometer, den erforderlichen Zeichen des höchsten und niedrigsten Wasserstandes und thunlichst auch mit einer Alarmpfeife auszustatten, deren Bethätigung bei Unterschreiten des niedrigsten Wasserstandes stattzufinden hat.

Auf die Lieferung möglichst trockenen Dampfes ist Rücksicht zu nehmen, gebotenenfalls sind Wasserabscheider anzubringen.

2. Berechnung der Dampfkessel.

Die Berechnung der Dampfkessel einer Niederdruck-Dampfheizung ist von derjenigen für eine Hochdruck-Dampfheizung (s. Gl. 120) nicht verschieden, sofern während des Nachts der Betrieb unterbrochen wird. Bei Dauerbetrieb dagegen bleibt das Hochheizen ausser Betracht und kann man dann die feuerberührte Kesselfläche setzen:

$$F = \frac{1{,}1\,W}{W_2} \qquad (226)$$

sofern dann W die Wärme bedeutet, die bei der niedrigsten Aussentemperatur den Räumen zu liefern ist und W_2 wiederum die Wärmemenge, die ein Quadratmeter-Kessel-Heizfläche in der Stunde an das Wasser überführt. Da bei Niederdruck-Dampfheizung Schüttfeuerung in Anwendung kommt, so kann für denjenigen Theil der Heizfläche, der etwa mit dem glühenden Brennmateriale in unmittelbarer Berührung steht, W_2 zu 18000, für den übrigen Theil der Heizfläche zu 7000 bis höchstens 8000 angenommen werden.

Die stündlich erforderliche Menge Brennmaterial in kg ist alsdann zu setzen:

$$p = \frac{5\,W_2\,F}{3\,C},$$

sofern C die aus einem kg Brennmateriale beim Verbrennen theoretisch erzeugte Wärmemenge bedeutet (s. Aufstellung S. 121).

Ueber Bestimmung der Rostgrösse s. S. 124.

Digitized by Google

IV. Die Heizkörper einer Niederdruck-Dampfheizung.

(Siehe Tafel XXII.)

1. Konstruktion der Heizkörper und Regelung der Wärme-Abgabe.

Die Konstruktion der Heizkörper ist im Wesentlichen dieselbe wie diejenige bei Hochdruck-Dampfheizung, so dass auf das bereits Gesagte (s. S. 289) verwiesen werden muss.

Die Regelung der Wärme-Abgabe kann mittelbar durch Isolirmäntel oder unmittelbar durch Ventile erfolgen.

Die Wärme-Abgabe durch Isolirmäntel verdient vom hygienischen Standpunkte keine, vom technischen Standpunkte nur geringe Empfehlung (s. S. 164). Sie ist mehr und mehr durch die in der Praxis in sehr eingehender und zufriedenstellender Weise ausgebildete Wärmeregelung durch Ventile verdrängt worden. Letztere wird durch Erzielung eines dem Dampfdrucke gleichen und je nach Drosselung des Ventils an beliebige Stelle zu verlegenden Gegendrucks im Heizkörper hervorgerufen. Dieser Gegendruck kann durch eine Flüssigkeit (Wasser) oder durch Luft bewirkt werden, die aus dem Heizkörper bei Eintritt des Dampfes dem Drucke entsprechend verdrängt werden. Bei voll geöffnetem Ventile muss die Dampfspannung gerade genügen, um aus dem Heizkörper die gesammte Flüssigkeit zu verdrängen; bei einer Drosselung des Ventils tritt alsdann, da der Dampf mit der gleichen Spannung den Heizkörper nicht mehr erfüllen kann, die Flüssigkeit der Drosselung entsprechend bis zu einer bestimmten Höhe in denselben zurück und bewirkt somit das Ausschalten eines Theiles der Niederschlagsfläche.

Wasser eignet sich als Verdrängungsflüssigkeit nicht besonders, da dasselbe während des Betriebes aus den Heizkörpern nach einem anderen Gefässe abfliessen und in demselben angestaut werden muss, der Gegendruck also eine veränderliche Grösse enthält und Wassergefässe erforderlich werden, die der Einfriergefahr unterworfen sind.

Bei Verwendung von Luft zur Erzeugung des Gegendruckes in den Heizkörpern kann dieselbe nach einzelnen oder nach einem gemeinsamen Sammelgefässe oder auch einfach ins Freie geführt werden. Gefässe gestatten in Gestalt von Schwimmerglocken (Käuffer) eine beliebige Annahme des Gegendrucks. Bei dem Entlassen der Luft ins Freie bedingt der atmosphärische Druck die Grösse des Gegendrucks. Die Verschiebung der Luft nach Gefässen verfolgt auch noch ganz besonders den Zweck, stets dieselbe Luft wieder den Heizkörpern zuzuführen, um dadurch die bereits früher erwähnten „sauerstoffarmen“ Anlagen zu erhalten. Da dieser Zweck nicht voll erreichbar ist (s. S. 322), so kann das einfachere Entlüften der Heizkörper als genügend empfohlen werden.

Die Wärmeregelung durch Verdrängen der Luft setzt eine möglichst geringe Berührungsfläche zwischen dem Dampfe und der Luft

Digitized by Google

im Heizkörper voraus, da sonst eine Mischung dieser beiden Gase erfolgen wird, sie hat aber gegenüber der Benutzung des Wassers zur Erzielung des Gegendruckes den Vortheil, dass die erzeugte Dampfspannung gänzlich aufgebraucht werden kann. Es sind alsdann die Regelungsventile derartig einzustellen, dass bei voller Oeffnung der Dampf zwar möglichst den ganzen Heizkörper erfüllt, aber nur Niederschlagswasser entweichen kann.

Die Regelungsventile erfordern somit für jeden Heizkörper je nach der Grösse und seiner Entfernung vom Kessel, also je nach der Dampfspannung einen bestimmten Durchgang bei grösstem Hube. Dieser Bedingung gerecht zu werden, sind in der Praxis verschiedenartige Konstruktionen entstanden. Bei vielen ist ausser einem gewöhnlichen Ventile von bestimmtem Hube noch eine Schraube oder sonstige Vorrichtung, d. h. mit anderen Worten, eine einstellbare Verengung des Rohrquerschnitts vor dem Ventile vorhanden, die den Dampfzufluss festlegt. Hierdurch wird also lediglich ein Theil des Ventilwegs bezw. Ventilhubs ausser Einfluss und somit die äussere Bezeichnung für den Stand des Ventils in Widerspruch mit der Wirkung gesetzt. Bei anderen Konstruktionen wird der Weg bezw. Hub des Ventils durch einen an der erforderlichen Stelle einzuschaltenden Widerstand (Anschlag u. s. w.) begrenzt. Sie verfallen somit sinngemäss dem gleichen Fehler. Ein richtig konstruirtes Ventil soll jederzeit die gleiche wirkungsvolle Handhabung nach Massgabe der äusserlich angebrachten Regelungsmarken gestatten, gleichwohl aber nur die erforderliche Dampfmenge den Heizkörpern zuführen, es soll also eine beliebige einmalige Einstellung des Dampfdurchlasses bei voller Oeffnung gestatten, trotzdem aber bei stets gleichem äusseren Bewegungsumfange den Dampfdurchlass möglichst proportional der äusseren Stellung regeln.

Wenn eine Anzahl Heizkörper bei einer Anlage vom Dampfzuflusse ausgeschaltet wird, oder wenn die Dampfspannung im Kessel über diejenige, bei der der Dampfdurchlass der Ventile geregelt worden ist, steigt, so sind alsdann für die im Betriebe befindlichen Heizkörper die Rohrdurchmesser zu gross und wird sich die Dampfspannung vor dem Regelungsventile über die normale stellen. Es kann somit der in die Heizkörper einströmende Dampf nicht mehr voll zur Kondensation gebracht werden und wird, wie bereits auf S. 321 erwähnt, in die Niederschlagswasserleitung treten (sogenanntes „Durchschlagen der Heizkörper"), was unter Umständen zu einer Störung des Effektes durch Beeinträchtigung des Luft- und Wasserabflusses aus den anderen Heizkörpern führen kann. Es sollen daher die Heizkörper etwas grösser als sonst nöthig ausgeführt und die Ventile bezüglich des Dampfdurchlasses derartig geregelt werden, dass der Dampf nur bei einer höheren als der normalen Dampfspannung das untere Ende der Heizkörper erreichen kann.

Digitized by Google

Um der durch vorstehend gekennzeichnete Regelungsweise bedingten Vertheuerung der Anlage zu entgehen, hat man sogenannte „Rückstauvorrichtungen“ für das Niederschlagswasser konstruirt (Poensgen, Kaeferle u. A.), die dasselbe als Sperrflüssigkeit gegen störendes rückläufiges Eintreten und Austreten von Dampf nutzbar machen, ohne der Luft den Ein- und Austritt zu verwehren. Wird dies in zufriedenstellender Weise erreicht, dann verbinden diese Vorrichtungen den Vortheil, die erwähnten Einstellvorrichtungen der Regelungsventile überflüssig zu machen, weil alsdann die Dampfspannung am Fusse der Heizkörper bei voll geöffneten Ventilen nicht aufgebraucht werden muss. Dem Vortheile steht allerdings, wie bereits auf S. 321 erwähnt, der Nachtheil gegenüber, dass das Stauwasser der Gefahr des Einfrierens unterliegt, sofern nicht die Vorrichtungen auch gleichzeitig eine vollkommene Entwässerung bei Ausserbetriebsetzung der Heizkörper gestatten.

Die bisher besprochene Regelung der Wärmeabgabe kommt lediglich auf ein am tiefsten Punkte des Heizkörpers beginnendes Ausserbetriebsetzen eines bestimmten Theiles der verfügbaren Wärmefläche hinaus. Um die bei der Warmwasserheizung so angenehme, nahezu gleichmässige Wärmevertheilung auf die gesammte Heizfläche für jede Grösse des Wärmebedarfs auch auf die Heizkörper der Niederdruck-Dampfheizung zu übertragen, hat man, wie bereits auf S. 321 erwähnt, mit gutem Erfolge versucht, den Dampf von unten in den Heizkörper durch Düsen eintreten zu lassen und dadurch ein Mischen des Dampfes mit der eingeschlossenen Luft und einen Umlauf des Gemisches zu erzielen (Gebr. Körting). Der Nachtheil, dass ein Gemisch von Dampf und Luft weniger Wärme als reiner Dampf abgiebt, wird dadurch aufgehoben, dass das Gemisch jederzeit mit der ganzen Heizfläche in Berührung steht. Allerdings setzt diese Einrichtung eine bestimmte Form des Heizkörpers voraus, ist also nicht unter allen Verhältnissen verwendbar.

2. Berechnung der Heizkörper.

Die Berechnung der Heizkörper erfolgt wie auf S. 180 angegeben. Es ist somit nach Gl. 122 zu setzen:

$$F = \frac{W}{k\left(\frac{t' + t''}{2} - t_z\right)}$$

worin bedeutet:

F die Wärme abgebende Fläche der Heizkörper in qm,

W die stündlich von dem Heizkörper zu liefernde Wärmemenge in WE,

t' bezw. t'' die Temperatur des Dampfes bei Eintritt in den Heizkörper bezw. bei Austritt aus demselben. Da der Dampf im Heizkörper fast stets aufgebraucht werden soll, so ist $t'' = 100^0$ zu setzen,

Digitized by Google

t_1 die Temperatur der zuströmenden Luft,
k den Transmissionskoefficienten. (Aus Tabelle 13 zu entnehmen, unter Berücksichtigung des auf S. 171 u. f. Gesagten.)

V. Die Rohrleitungen einer Niederdruck-Dampfheizung.

1. Anordnung und Ausführung der Rohrleitungen.

Die Anordnung der Rohrleitungen hat bereits im Abschnitte II, S. 323 Erledigung gefunden; bezüglich der Ausführung dagegen ist im Wesentlichen auf die Angaben bei der Hochdruck-Dampfheizung zu verweisen. Alle Bedingungen, die eine Rohrleitung bei der Hochdruck-Dampfheizung in Rücksicht auf die Wärme zu erfüllen hat (Ausdehnung, Schutz vor Wärmeverlusten u. s. w.), gelten auch für die Rohrleitung einer Niederdruck-Dampfheizung, nur soweit die Dampfspannung in Frage kommt, müssen die früher gestellten Forderungen sinngemässe Anwendung erfahren. Niederdruck-Dampfheizungen gestatten infolge der geringen Dampfspannungen fast immer unmittelbare Zurückführung des Niederschlagswassers nach dem Kessel, doch kann es selbstverständlich durch besondere Lageverhältnisse auch vorkommen, dass das Wasser durch besondere Vorrichtungen zurückgeführt werden muss.

Nach Fertigstellung einer Anlage ist dieselbe auf Dichtheit der Rohrleitungen u. s. w. zu prüfen, doch ist nicht, wie bei der Hochdruck-Dampfheizung eine eigentliche Druckprobe im kalten Zustande erforderlich, sondern es genügt, dass die Kessel, falls sie vor ihrer Einmauerung auf 2 Atm. geprüft worden sind, bis zur höchsten zulässigen Dampfspannung (0,5 Atm.) geheizt werden und dass sich alsdann alle Verbindungen u. s. w. als zuverlässig erweisen. Ist Dichtheit vorhanden, so können die mittels Muffen verbundenen Rohrstränge, besonders wenn Dauerbetrieb vorgesehen ist, wie bei der Warmwasserheizung auch hohl vermauert, d. h. es können die Schlitzkanäle, in denen sie liegen, geschlossen werden; Flanschröhren dagegen sollen stets unmittelbar zugänglich bleiben.

2. Berechnung der Rohrleitungen.

a) Bestimmung der Rohrdurchmesser. Die Berechnung der Rohrleitungen ist an und für sich in nichts von derjenigen einer Hochdruck-Dampfheizung verschieden.

Bezeichnet wieder:

W die stündlich am Ende eines Rohres geforderte Wärmemenge in *WE*,
W' die stündlichen durch Wärme-Abgabe des Rohres bedingten Wärmeverluste in *WE*,

Digitized by Google

p_2 bezw. p_1 den Anfangs- bezw. Enddruck des Dampfes (vom Kessel aus gerechnet) im Rohre in kg/qm,
d bezw. D den inneren bezw. äusseren Durchmesser des Rohres in m,
l die Länge des Rohres in m,
$\Sigma\zeta$ die Summe der einmaligen Widerstände im Rohre,
γ das Gewicht von einem cbm Dampfe am Ende des Rohres,

so ist zu setzen, wenn man die latente Wärme des Dampfes mit 530 *WE* einführt:

$$\left.\begin{aligned} W' &= 5000\,Dl \text{ für ein vor Wärme-Abgabe nicht geschütztes Rohr,} \\ W' &= 1000\,Dl \text{ für ein vor Wärme-Abgabe gut geschütztes Rohr.} \end{aligned}\right\} \quad (227)$$

Nach Gl. 207 ergiebt sich der Druck am Anfange eines Rohres (vom Kessel ab gerechnet):

$$p_2 = \sqrt{\frac{0{,}268\,l}{(100\,d)^5}\left\{W(W+W')\right\} + (p_1+3060)^2} - 3060 + \frac{(W+W')^2\,\Sigma\zeta}{(2576\,d)^4\,\gamma} \quad (228)$$

oder, wenn man den Durchmesser d berechnen will, in gleicher Weise wie bei der Hochdruck-Dampfheizung:

$$p_2'' = \frac{(W+W')^2\,\Sigma\zeta}{(2576\,d)^4\,\gamma}, \quad (229)$$

$$p_2' = p_2 - p_2'', \quad (230)$$

$$d = 0{,}01\sqrt[5]{\frac{0{,}268\,l\left\{W(W+W')\right\}}{(p_2'-p_1)(p_2'+p_1+6120)}}. \quad (231)$$

Nur in den seltensten Fällen, d. h. nur wenn es darauf ankommt, genau die Druckverhältnisse am Anfange oder Ende eines Dampfrohres zu kennen (s. weiter unten und auch Dampf-Warmwasserheizung), werden die einmaligen Widerstände zu berücksichtigen sein, da diese durch Aufrundung der berechneten Durchmesser auf Handelsmafs reichlich gedeckt werden. Für gewöhnlich kommen daher bei einer Berechnung nur die folgenden Gleichungen in Frage:

$$p_2 = \sqrt{\frac{0{,}268\,l}{(100\,d)^5}\left\{W(W+W')\right\} + (p_1+3060)^2} - 3060, \quad (232)$$

$$d = 0{,}01\sqrt[5]{\frac{0{,}268\,l\left\{W(W+W')\right\}}{(p_2-p_1)(p_2+p_1+6120)}}. \quad (233)$$

Digitized by Google

Mit Hilfe dieser Gleichungen sind die Tabellen 19 berechnet worden; in denselben wurden ungünstige Verhältnisse in Rücksicht gezogen, so dass sie, wenn lediglich die Sicherheit des Betriebs bezüglich Lieferung genügender Dampfmengen in Frage kommt, nicht nur für den Anschlag, sondern auch für die Ausführung benutzt werden können, die genaue Berechnung also entbehrlich machen.

Mit der Dampfspannung im Kessel sollte in der Praxis über 0,2 Atm. Ueberdruck keinesfalls hinausgegangen werden, infolgedessen sind 4 Tabellen, d. h. für einen Ueberdruck im Kessel von 500, 1000, 1500 und 2000 kg/qm zur Aufstellung gekommen.

Was die Benutzung der Tabellen 19 zur Bestimmung der Rohrdurchmesser bei Niederdruck-Dampfheizung betrifft, so ist dieselbe sehr einfach. Da in den Heizkörpern sämmtlicher Dampf niedergeschlagen werden soll, der Ueberdruck gegen die Aussenluft also dann ausgeglichen ist, so konnte für diese Tabellen mit einem ganz bestimmten Druckabfalle vom Kessel gerechnet werden. Will man beispielsweise im Kessel mit einem Ueberdrucke gegen die Aussenluft von 1000 kg/qm, also nahezu von 0,1 Atm. arbeiten, so müssen am Ende eines jeden Heizkörpers diese 1000 kg aufgebraucht sein. Muss man nach den weiter unten folgenden Erwägungen die Spannung des Dampfes bei Eintritt in den vom Kessel entferntest gelegenen Heizkörper — die Entfernung betrage l — mit m kg in Ansatz bringen, so ist bei einem gleichmässigen Druckabfalle für diesen Heizkörper $\frac{1000 - m}{l}$ der in der betr. Tabelle aufzusuchende Druckabfall. Nach Massgabe der in den einzelnen Strecken dieser Rohrleitung zu fördernden Wärmemengen bestimmt sich dann sofort der Durchmesser. An den einzelnen Abzweigen dieser Rohrleitung ist entsprechend der Entfernung l_1 vom Kessel die herrschende Dampfspannung sofort zu bestimmen, d. h. sie ist $\frac{(1000 - m) l_1}{l}$. Wird die Länge des Abzweigs bis zum Endheizkörper desselben mit l_2 bezeichnet, so ist der Druckabfall in der Abzweigsleitung $\frac{(1000 - m) l_1}{l l_2}$ und ist dann für die Bestimmung der Rohrdurchmesser derselben die diesem Werthe entsprechende Spalte derselben Tabelle zu benutzen. Die einmaligen Widerstände können, wie bereits erwähnt, unter Voraussetzung der oben angeführten Bedingungen gänzlich vernachlässigt werden und zwar um so sicherer, als durch die ungünstigsten Annahmen und die unvermeidlichen Sprünge in der Tabelle, dieselben reichlich gedeckt werden, sofern man nicht über die in derselben für einen bestimmten Durchmesser angegebenen Wärmemengen hinausgeht.

Es könnte auffallend erscheinen, dass in den Tabellen die durch ein Rohr stündlich zu sendende Wärmemenge kleiner wird, wenn der Ueberdruck im Kessel wächst. Der scheinbare Widerspruch der Tabellen

Digitized by Google

mit der Thatsache, dass bei ein und demselben Rohre naturgemäss die geförderte Dampfmenge mit wachsendem Kesseldrucke zunimmt, findet darin seine Erklärung, dass in den Tabellen für höhere Dampfdrucke auch grössere Rohrlängen angenommen worden sind. Beträgt z. B. der Druckabfall 4 kg auf das laufende Meter, so kann ein Rohr von 0,011 m Durchmesser bei einem Kesselüberdrucke von 500 kg nach Tabelle 19 A etwa 240 *WE* auf 125 m Entfernung liefern, bei einem Kesseldrucke von 1000 kg nach Tabelle 19 B nur 130 *WE* aber auf 250 m Entfernung. Beträgt jedoch die Länge des Rohres in beiden Fällen nur 50 m, so würde dasselbe bei 500 kg Kesselüberdruck, also 10 kg Druckabfall auf das laufende Meter, 840 *WE* liefern können, bei 1000 kg dagegen, also bei 20 kg Druckabfall, 1300 *WE*.

In der Praxis sollte man die Dampfspannung im Kessel stets unter Berücksichtigung der Ausdehnung der Anlage wählen, d. h. um in den Vertheilungsleitungen bis zu den Heizkörpern mit geringen Druckabfällen arbeiten zu können, die Kesselspannung nicht grösser als erforderlich wählen (s. S. 323).

b) Annahme der Druckverhältnisse in den Rohrleitungen. Es muss als ein vielfach in der Praxis verbreiteter Fehler bezeichnet werden, das Dampfzuflussrohr zum Heizkörper im Querschnitte grösser als erforderlich zu nehmen und dafür ein kleines Ventil einzuschalten oder den Dampfdurchlass stark zu drosseln, da hierauf hauptsächlich das störende Geräusch bei Eintritt des Dampfes in den Heizkörper zurückzuführen ist (s. S. 323). Durch die richtige Wahl des Druckabfalles in der Rohrleitung und des Dampfdruckes unmittelbar vor dem Heizkörper lässt sich das Geräusch auf das geringste Mafs zurückführen. Die an den Ventilen anzuordnenden Regelungsvorrichtungen zu einmaliger Einstellung sollten also ihre Wirkung stets nur darauf zu beschränken haben, die nothwendige Aufrundung des berechneten Rohrquerschnitts auf Handelsmafs auszugleichen.

Was den Druckabfall betrifft, so hängt derselbe von dem gewählten Ueberdrucke im Kessel und von der Länge der Rohrleitungen ab. Man wähle dem Gesagten zufolge die Kesselspannung nicht unnöthig hoch, besonders wenn bereits in der Nähe des Kessels Zweigleitungen endigen, und man verlege, soweit dies nach Massgabe der Ausdehnung der Anlage möglich ist, den hauptsächlichsten Druckabfall in die an den Kessel sich zunächst anschliessenden Theilstrecken der Hauptvertheilungsleitung. Man wird gut thun, den Ueberdruck im Kessel nicht grösser anzunehmen als

zu 500 kg, bei Anlagen, bei denen der Dampf nicht über 100 m,
„ 1000 „ „ „ „ „ „ „ „ „ 200 m,
„ 1500 „ „ „ „ „ „ „ „ „ 300 m,
„ 2000 „ „ „ „ „ „ „ bis zu 500 m

zu leiten ist.

Digitized by Google

Was dagegen den Dampfdruck unmittelbar vor den Heizkörpern betrifft, so ist derselbe von dem Gesichtspunkte aus zu bestimmen, dass bei Niederdruck-Dampfheizung der gesammte, einem Heizkörper zuströmende Dampf in demselben niedergeschlagen werden soll. Es ist die Einhaltung dieser Forderung der Wärmeregelung halber nöthig, auch tritt andernfalls das „Durchschlagen" des Dampfes ein. Zur Bestimmung des Druckes am Ende einer Rohrleitung, d. h. also am Anfange eines Heizkörpers, dient die Gleichung 203, die auch für einen Heizkörper, wenigstens einen aus glattem Rohre gebildeten, Gültigkeit haben muss. Die Gleichung lautet, wenn von einmaligen Widerständen abgesehen wird:

$$p_2 = \sqrt{\frac{25\,160\,l}{(100\,d)^5}\left\{3\,Q^2 + Q'(3\,Q + Q')\right\} + (p_1 + 3060)^2} - 3060.$$

Im Heizkörper soll am Ende desselben der Dampf aufgebraucht sein, folglich ist in der Gleichung $Q = 0$ zu setzen. Q' bedeutet die durch Wärmeverluste verloren gehende, d. h. also in diesem Falle die der Wärme-Abgabe des Heizkörpers entsprechende Dampfmenge. Bezeichnet man diese nun mit Q_H, so geht die Gleichung in die andere über:

$$p_2 = \sqrt{\frac{25160\,Q_H^2\,l}{(100\,d)^5} + (p_1 + 3060)^2} - 3060. \qquad (234)$$

p_1 soll dem Drucke der Atmosphäre entsprechen. Um bei hohem Barometerstande noch auszukommen, möge der Druck der Atmosphäre zu 10540 kg angenommen werden, alsdann ist, wenn mit m der Ueberdruck am Anfange des Heizkörpers bezeichnet wird, $p_2 = p_1 + m$ und somit der erforderliche Ueberdruck nach Gl. 234:

$$m = \sqrt{\frac{25160\,Q_H^2\,l}{(100\,d)^5} + 13600^2} - 13600.$$

Ist die Wärmemenge der Heizkörper (W_H) gegeben, so kann $Q_H = \frac{W_H}{530}$ gesetzt werden.

Nimmt man nun beispielsweise Heizkörper aus Rohr nach Handelsmafs von 0,014 bis 0,049 m lichtem Durchmesser an und setzt nach einander $Q_H = 5$, 10, 15, 20, 25, 50 und 100 kg, entsprechend einer Wärmemenge von 2650, 5300, 7950, 10600, 13250, 26500 und 53000 *WE*, setzt ferner für eine Raumtemperatur von 20° die Wärme-Abgabe eines Quadratmeters Rohrspirale 1060 *WE*, so dass für die angegebenen Wärmemengen die erforderliche Rohrlänge des Heizkörpers bestimmt ist, so ergiebt sich aus folgender Aufstellung der erforderliche Ueberdruck m am Anfange des Heizkörpers:

$Q_H =$	5	10	15	20	25	50	100 kg,
$W_H =$	2650	5300	7950	10600	13250	26500	53000 *WE*,

Digitized by Google

$d = 0{,}014 : m =$	172	1312	4040	8408	—	—	— kg,
$d = 0{,}020 : m =$	14	302	579	1344	7031	—	— kg,
$d = 0{,}025 : m =$	5	45	152	361	722	4942	— kg,
$d = 0{,}034 : m =$	1	18	25	60	121	935	6284 kg,
$d = 0{,}039 : m =$	0	4	13	27	52	419	3059 kg,
$d = 0{,}043 : m =$	0	0	6	16	30	50	1828 kg,
$d = 0{,}049 : m =$	0	0	0	7	14	110	857 kg.

Aus dieser Aufstellung geht die für die Praxis wichtige Angabe hervor, welchen Anfangsdruck man bei Zimmer-Rohrheizkörpern annehmen muss, ferner, dass man bei gewöhnlichen gusseisernen Heizkörpern und bei Spiralen von Rohr nicht unter 0,039 m lichtem Durchmesser, die stündlich bis etwa 6000 *WE* abzugeben haben, die Eintrittsdampfspannung vernachlässigen oder sie zur Sicherheit wegen des Kondenswassers mit etwa 10 kg Ueberdruck annehmen kann; dass man aber bei Heizspiralen von geringerem lichten Rohrdurchmesser als 0,039 m oder von grösserer Wärme-Abgabe als 6000 *WE*, also z. B. bei Rohrspiralen für Dampfluftheizung oder zur Erwärmung von Wasser durch Niederdruckdampf genaue Berechnung anstellen muss, um sich unter Umständen vor verhängnissvollen Folgen zu schützen. Aus Gl. 234 folgt, wenn Q_H bezw. W_H gegeben und d angenommen wird, die Rohrlänge der Spirale:

$$l = \frac{(100\,d)^5\, m\,(2p_1 + m + 6120)}{25\,160\,Q_H^2} = \frac{11{,}17\,(100\,d)^5\, m\,(2p_1 + m + 6120)}{W^2}, \quad (235)$$

oder wenn die Rohrlänge der Spirale l und der Durchmesser d angenommen wird:

$$\left.\begin{aligned} Q_H &= \sqrt{\frac{(100\,d)^5\, m\,(2p_1 + m + 6120)}{25\,160\,l}} \\ \text{bezw.} \\ W_H &= \sqrt{\frac{11{,}17\,(100\,d)^5\, m\,(2p_1 + m + 6120)}{l}} \end{aligned}\right\}. \quad (236)$$

Aus obiger Aufstellung ersieht man, dass man z. B. bei einer Rohrspirale von 0,020 m lichtem Durchmesser und einem Dampfbedarfe von 15 kg mit einem Ueberdrucke im Kessel von 0,05 Atm. nicht mehr auskommen würde und bei 25 kg Dampfbedarf überhaupt Niederdruck nicht mehr verwenden könnte, da der erforderliche Ueberdruck 7031 kg betragen müsste, während selbst bei der höchsten zulässigen Dampfspannung im Kessel von 0,5 Atm. Ueberdruck nur 5000 kg zur Verfügung stehen würden. (S. a. Beispiel Dampf-Warmwasserheizung.)

Wie bereits erwähnt (s. S. 321), ist man neuerdings bestrebt, die

Digitized by Google

generelle Regelung der Wärme-Abgabe der Heizkörper, ähnlich wie bei der Warmwasserheizung durch die Temperatur des Kesselwassers, durch die Aenderung der Dampfspannung im Kessel zu bewirken. Zur Behandlung dieser Frage mögen zwei Rohrleitungen angenommen werden, bei denen im Treffpunkte der Dampf die Spannung p_2 hat. Bezeichnet nun:

W_1 bezw. W_2 die am Ende der beiden Rohrleitungen stündlich zu liefernde Wärmemenge in *WE*,
d_1 bezw. d_2 den inneren Durchmesser der Rohrleitungen in m,
D_1 „ D_2 „ äusseren „ „ „ „ „
l_1 „ l_2 die Länge der beiden Rohrleitungen in m,
p_1 den Druck der Atmosphäre in kg/qm,
m_1 bezw. m_2 den Ueberdruck des Dampfes gegen den Atmosphärendruck unmittelbar vor Eintritt in den Heizkörper in kg/qm,

so ist, wenn die Rohrleitungen vor Wärme-Abgabe geschützt sind und wenn von den einmaligen Widerständen abgesehen wird, nach Gl. 232 zu setzen:

$$\frac{0{,}268\, l_1}{(100\, d_1)^5}\left\{W_1(W_1 + 1000\, D_1\, l_1)\right\} + (p_1 + m_1 + 3060)^2 =$$
$$= \frac{0{,}268\, l_2}{(100\, d_2)^5}\left\{W_2(W_2 + 1000\, D_2\, l_2)\right\} + (p_1 + m_2 + 3060)^2. \quad (237)$$

m_1 und m_2 hat sich nach bereits Gesagtem (s. S. 335) nach der Art des Heizkörpers und der Grösse der Wärmemenge zu richten, W_1 und W_2 nehmen bei höheren Aussentemperaturen proportional ab, alle übrigen Werthe sind gleichbleibende Grössen, denn auch die Wärmeverluste ($1000\, D_1\, l_1$ bezw. $1000\, D_2\, l_2$) kann man bei der Geringfügigkeit des Unterschiedes der Dampftemperaturen bei verminderter Spannung als solche betrachten.

Bei nahezu gleich grossen und gleichartigen Heizkörpern muss auch $m_1 = m_2$ gemacht werden, da sonst der Ueberdruck des Dampfes in den Heizkörpern nicht aufgebraucht werden würde, man ersieht also, dass in diesem Falle von den Werthen in den grossen Klammern der Gleichung die Wirkung abhängt und dass es nur möglich ist, durch generelle Regelung der Dampfspannung eine gleichmässige Verminderung oder Steigerung der Wärme-Abgabe der Heizkörper zu erzielen, wenn die Klammernwerthe gleich gross sind, was wiederum nur erreicht wird, wenn $W_1 = W_2$ und $D_1 l_1 = D_2 l_2$ ist. Je grössere Unterschiede zwischen den Wärmemengen und der Länge der Rohrleitungen vorhanden sind, um so weniger ist das gewünschte Ziel zu erreichen. Ein Beispiel möge dies noch weiter veranschaulichen.

Es sei für den grössten Wärmebedarf:
$W_1 = 12000\ WE$,
$d_1 = 0{,}02$ m, $d_2 = 0{,}034$ m,
$D_1 = 0{,}026$ m, $D_2 = 0{,}042$ m,

Digitized by Google

$l_1 = 10$ m, $l_2 = 100$ m,
$p_1 = 10540$ (hoher Barometerstand) kg/qm,
$m_1 = m_2 = 60$ kg/qm (nach Massgabe der Art der Heizkörper nach Aufstellung S. 335 gewählt),

dann ergiebt sich nach Gl. 237:

$$\frac{10}{(100 \cdot 0{,}02)^5}\left\{12000\,(12000 + 1000 \cdot 0{,}026 \cdot 10)\right\} = \frac{100}{(100 \cdot 0{,}034)^5}\left\{W_2\,(W_2 + 1000 \cdot 0{,}042 \cdot 100)\right\},$$

hieraus folgt:

$$W_2 \sim 12500\,WE,$$

d. h. die Wärmelieferung beider Heizkörper ist unter den angenommenen Verhältnissen nahezu die gleiche, also auch $m_1 = m_2$ gerechtfertigt.

Nach Gl. 232 setzen die gewählten Verhältnisse am Treffpunkte beider Rohrleitungen einen Druck von:

$$p_2 = \sqrt{\frac{0{,}268 \cdot 10}{(100 \cdot 0{,}02)^5}\left\{12000\,(12000 + 1000 \cdot 0{,}026 \cdot 10)\right\} + (10540 + 10 + 3060)^2} - 3060 = 504 \text{ kg}$$

voraus.

Es möge nun nur die Hälfte der Wärmemengen, entsprechend einer höheren Aussentemperatur, erforderlich werden. Alsdann ist nach Früherem (s. S. 335) $m_2 = 10$ zu setzen; es müsste also in diesem Falle auch $m_1 = 10$ werden.

Es lautet nun die Gl. 237:

$$\frac{0{,}268 \cdot 10}{(100 \cdot 0{,}02)^5}\left\{6000\,(6000 + 1000 \cdot 0{,}026 \cdot 10)\right\} + (10540 + m_1 + 3060)^2 = \frac{0{,}268 \cdot 100}{(100 \cdot 0{,}034)^5}\left\{6250\,(6250 + 1000 \cdot 0{,}042 \cdot 100)\right\} + (10540 + 10 + 3060)^2$$

und berechnet sich aus derselben:

$$m_1 = 73 \text{ kg}.$$

Der Anfangsdruck im Treffpunkte der beiden Rohrleitungen ist alsdann nach Gl. 232:

$$p_2 = \sqrt{\frac{0{,}268 \cdot 10}{(100 \cdot 0{,}02)^5}\left\{6000\,(6000 + 1000 \cdot 0{,}026 \cdot 10)\right\} + (10540 + 73 + 3060)^2} - 3060 = 150 \text{ kg}.$$

In Worte übersetzt lautet das Ergebniss: wenn am Ende der längeren Rohrleitung bei halbem Wärmebedarfe der Ueberdruck des Dampfes 10 kg beträgt, bezw. betragen muss, so hat am Anfange der Rohrleitung ein Ueberdruck von 150 kg zu herrschen. Dieser Ueberdruck von 150 kg wird in der kürzeren Rohrleitung nur bis auf 73 kg anstatt bis auf 10 kg aufgebraucht, es besteht also dann vor dem Heizkörper ein grösserer Druck als bei dem grössten Wärmebedarfe erforderlich ist. Der Heizkörper der kürzeren Rohrleitung wird also bei halbem Wärmebedarfe nicht nur ganz mit Dampf erfüllt werden, sondern sogar noch durchschlagen. Eine generelle Regelung der Wärme-Abgabe der Heizkörper ist also nicht möglich und muss es bei dem lokalen Regeln sein Bewenden haben.

Das Beispiel ist absichtlich ungünstig gewählt, wird aber in der Praxis nicht selten vorkommen; es zeigt, dass in dem behandelten Falle das Bestreben, die Regelung der Wärme-Abgabe der Heizkörper in genereller Weise zu erzielen, geradezu verfehlt wäre.

Die generelle Regelung der Wärme-Abgabe der Heizkörper durch die Dampfspannung lässt sich in vollkommener Weise nur dann erreichen, wenn alle Heizkörper gleich gross und alle zu denselben führenden Leitungen gleich lang gemacht werden, was in der Praxis aber nicht durchführbar ist.

Digitized by Google

3. Beispiel zur Berechnung der Rohrleitung einer Niederdruck-Dampfheizung.

Aufgabe. Die durch Fig. 69 gekennzeichnete Anlage einer Niederdruck-Dampfheizung ist zu berechnen, d. h. es sind zunächst die Rohrdurchmesser lediglich mit Hilfe der Tabelle 19, alsdann diejenigen des längsten Rohrzugs, also der Theilstrecken 1, 3, 10, 14 und 18 durch genaue Rechnung festzustellen. Der Ueberdruck im Kessel soll unter Annahme mittleren Barometerstandes 500 kg/qm betragen. Bezüglich der von den einzelnen Heizkörpern abzugebenden Wärmemengen, sowie der

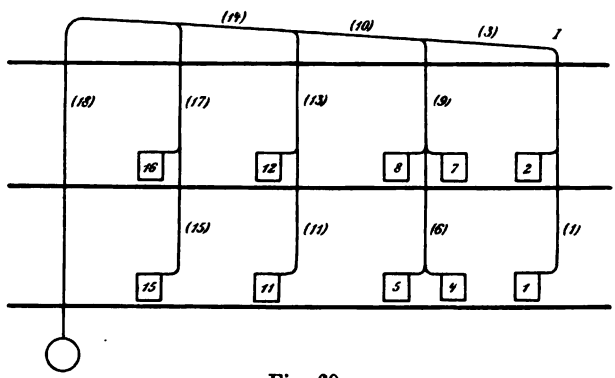


Fig. 69.

Längen der Theilstrecken wird zur Vermeidung von Wiederholungen auf die in der „Lösung der Aufgabe" enthaltene Zusammenstellung verwiesen, dagegen möge hier angeführt werden, dass die Summen der einmaligen Widerstände für Theilstrecke 1: $\Sigma\zeta_1 = 2{,}5$, Theilstrecke 3: $\Sigma\zeta_3 = 2$, Theilstrecke 10: $\Sigma\zeta_{10} = 0$, Theilstrecke 14: $\Sigma\zeta_{14} = 0$, Theilstrecke 18: $\Sigma\zeta_{18} = 4{,}5$ betragen. Die Rohrleitung ist vor Wärme-Abgabe gut geschützt. Als Heizkörper sind Radiatoren anzunehmen.

Lösung der Aufgabe. Wie bereits auf S. 323 hervorgehoben, ist es jederzeit rathsam, den Druckabfall in den Theilstrecken unmittelbar vor den Heizkörpern möglichst klein anzunehmen. Bei der Bestimmung der Rohrdurchmesser ist immer mit der vom Kessel entferntest liegenden Theilstrecke zu beginnen und alsdann nach dem Kessel fortschreitend, in der Weise wie die Theilstrecken in Fig. 69 Bezeichnung gefunden haben, mit der Rechnung fortzufahren. Da der Ueberdruck im Kessel 500 kg betragen soll, so ist Tabelle 19, A für die Bestimmung der Rohrdurchmesser in Anwendung zu bringen. Für die in derselben fehlenden Druckabfälle sind die möglich zu fördernden Wärmemengen durch Schätzung zu bestimmen, was bei Berücksichtigung des nächst höheren und nächst niedrigeren in der Tabelle enthaltenen Druckabfalls ohne Schwierigkeit möglich ist.

a) Annahme der Rohrdurchmesser nach Tabelle 19. Theilstrecke 1. Der Rohrdurchmesser d_1 möge zu 0,025 m, d. h. also nach Tabelle 19 der Druckabfall auf das laufende Meter, zu etwa 5 kg angenommen werden, da alsdann $W_1 = 5000\,WE$ gefördert werden können. Am Ende des Heizkörpers soll der Ueberdruck des Dampfes aufgebraucht sein, am Anfange des Heizkörpers nehme man in diesem Falle nach Früherem (s. S. 335) 10 kg an. Da nun die Länge der Rohrleitung der Theilstrecke 1 : 7 m beträgt, so stellt sich der Anfangsdruck, d. h. im Treffpunkte der Theilstrecken 1 und 2 zu: $7 \cdot 5 + 10 = 45$ kg.

Theilstrecke 2. Im Treffpunkte mit Theilstrecke 1 herrscht der soeben bestimmte Ueberdruck von 45 kg, derselbe ist auf dem Wege bis zum Heizkörper 2 bis auf 10 kg aufzubrauchen, also beträgt der Druckabfall, da $l_2 = 2$ ist, $\frac{45 - 10}{2} =$

Digitized by Google

17,5 kg. Für $W_2 = 5500\,WE$ muss somit nach Tabelle 19 der Durchmesser $d_2 =$ 0,020 m gemacht werden. Der Ueberdruck wird in der Theilstrecke nicht ganz aufgebraucht und kann daher die einmal einzustellende Regelung am Heizkörper nicht entbehrt werden.

Theilstrecke 3. Der Druckabfall in dieser Theilstrecke sei wieder 5 kg auf das laufende Meter, somit beträgt derselbe im Ganzen, da $l_3 = 12$ m ist, $12 \cdot 5 = 60$ kg. Im Treffpunkte der Theilstrecken 1, 2 und 3 herrscht der bereits gemachten Bestimmung entsprechend, ein Ueberdruck von 45 kg, also steigert sich der Ueberdruck am Anfange der Theilstrecke 3 zu $60 + 45 = 105$ kg. Da $W_3 = 10500\,WE$ ist, so muss bei einem Druckabfalle von 5 kg nach Tabelle 19 der Durchmesser: $d_3 = 0{,}034$ m gewählt werden.

Für die folgenden Theilstrecken wiederholt sich die Rechnung in der gleichen Weise, es ist also entweder der Druckabfall auf das laufende Meter anzunehmen oder, wenn der Ueberdruck am Anfange der Theilstrecke bereits bestimmt ist, nach Massgabe der Länge der Rohrleitung zu bestimmen und alsdann für beide Fälle in gleicher Weise der Durchmesser aus der Tabelle zu entnehmen.

Das Einfachste ist es, sich zur Bestimmung der Rohrdurchmesser einer tabellarischen Anordnung zu bedienen und die einzelnen Spalten derselben für jede Theilstrecke nach Massgabe des Fortschreitens der Rechnung auszufüllen. Es möge also auch hier eine solche Aufstellung angenommen und in dieselbe auch die bereits bestimmten Theilstrecken eingetragen werden.

Theilstrecke No.	Wärmemenge in WE	Länge l in m	Angenommener oder erforderlicher Druckabfall für das laufende Meter in kg/qm	Angenommener oder erforderlicher Ueberdruck in kg/qm am Ende	Anfang	Durchmesser (nach Tab. 19) in m
1	5 000	7	5	10	45	0,025
2	5 500	2	17,5	10	45	0,020
3	10 500	12	5	45	105	0,034
4	4 500	2	6	10	22	0,025
5	6 000	2	6	10	22	0,025
6	10 500	7	5	22	57	0,034
7	4 900	2	23,5	10	57	0,020
8	4 100	2	23,5	10	57	0,020
9	19 500	5	10	57	105	0,039
10	30 000	10	5	105	155	0,049
11	5 400	7	6	10	52	0,025
12	5 600	2	21	10	52	0,020
13	11 000	5	20	52	155	0,025
14	41 000	8	5	155	195	0,057
15	3 600	7	4	10	38	0,025
16	4 600	2	14	10	38	0,020
17	8 200	6	26	38	195	0,020
18	49 200	25	12	195	500	0,049

Bei der Bestimmung der vorstehenden Aufstellung findet man, dass nach den Angaben der Tabelle 19 die anzunehmenden Ueberdrucke meist nicht aufgebraucht werden, dadurch werden also die einmaligen Widerstände reichlich gedeckt, auch kann man bei sorgfältiger Verfolgung der Rechnung mitunter einen Durchmesser kleiner, als nach der strengen Einhaltung der Tabelle anzunehmen ist, wählen, wie dies auch bei Theilstrecke 18 geschehen ist, da die in der Tabelle 19 für den Durchmesser 0,049 m und den Druckabfall von 12 kg auf das laufende Meter angegebene Wärmemenge nur um 400 WE kleiner ist, als die thatsächlich zu liefernde. Die Rechnung wird ergeben, ob die Annahme begründet war.

Digitized by Google

b) Berechnung des Rohrzugs von Theilstrecke 1, 3, 10, 14 und 18. Die Berechnung hat nach den Gleichungen 227—231 bezw. wenn die einmaligen Widerstände wegen ihrer geringen Grösse hierbei unberücksichtigt bleiben sollen, nach den Gleichungen 227, 231 und 232 zu erfolgen. Am einfachsten ist es, die sämmtlichen nach Tabelle 19 angenommenen Durchmesser bis auf denjenigen der letzten Theilstrecke zu belassen und die Ungenauigkeiten der Tabelle durch Berechnung des Durchmessers dieser einen Theilstrecke auszugleichen. Es ist dann für jede der übrigen Theilstrecken der Ueberdruck in den Treffpunkten zu bestimmen.

Im vorliegenden Beispiele sollen, um gleichzeitig die Sicherheit und den Werth der Tabelle 19 klar zu stellen, die einmaligen Widerstände berücksichtigt werden, infolgedessen kommen die Gleichungen 227—231 in Betracht.

Theilstrecke 1.

Es ist in derselben:

$W_1 = 5000,$

$p_1 = 10333 + 10 = 10343$ (da am Anfange des Heizkörpers der Ueberdruck 10 kg betragen soll, s. S. 335),

$d_1 = 0{,}025, \qquad l_1 = 7, \qquad \frac{1}{\gamma_1} = 1{,}65.$

$D_1 = 0{,}033, \qquad \Sigma\zeta_1 = 2{,}5.$

Nach Gl. 227 ist, da die Rohre vor Wärme-Abgabe geschützt sind:

$$W' = 1000 \cdot 0{,}033 \cdot 7 = 231\ WE,$$

nach Gl. 228:

$$p_2 = \sqrt{\frac{0{,}268 \cdot 7}{(100 \cdot 0{,}025)^5}\left\{5000\,(5000 + 231)\right\} + (10343 + 3060)^2} - 3060 + \\ + \frac{(5000 + 231)^2 \cdot 2{,}5 \cdot 1{,}65}{(2576 \cdot 0{,}025)^4} = 10367 \text{ kg}$$

Theilstrecke 3.

$W_3 = 10500 + (\text{Wärmeverluste der Theilstrecken 1 und 2} =) 231 + 1000 \cdot 0{,}026 \cdot 2 = \\ = 10783,$

$p_1 = 10367, \qquad l_3 = 12,$

$d_3 = 0{,}034, \qquad \Sigma\zeta_3 = 3,$

$D_3 = 0{,}042, \qquad \frac{1}{\gamma_3} = 1{,}65.$

Somit ist:

$$W_3' = 1000 \cdot 0{,}042 \cdot 12 = 504,$$

$$p_2 = \sqrt{\frac{0{,}268 \cdot 12}{(100 \cdot 0{,}034)^5}\left\{10783\,(10783 + 504)\right\} + (10367 + 3060)^2} - 3060 + \\ + \frac{(10783 + 504)^2 \cdot 3 \cdot 1{,}65}{(2576 \cdot 0{,}034)^4} = 10410 \text{ kg}.$$

Theilstrecke 10.

$W_{10} = 30000 + (\text{Wärmeverluste der Theilstrecken 1 bis 9} =) 1527 = 31527,$

$p_1 = 10410, \qquad l_{10} = 10,$

$d_{10} = 0{,}049, \qquad \Sigma\zeta_{10} = 0,$

$D_{10} = 0{,}059, \qquad \frac{1}{\gamma_{10}} = 1{,}65.$

Somit ist:

Digitized by Google

$$W_{10}' = 1000 \cdot 0{,}059 \cdot 10 = 590,$$

$$p_2 = \sqrt{\frac{0{,}268 \cdot 10}{(100 \cdot 0{,}049)^5}\left\{31\,527\,(31\,527 + 590)\right\}} + (10\,410 + 3060)^2 - 3060 =$$

$$= 10\,446 \text{ kg}.$$

Theilstrecke 14.

$W_{14} = 41\,000 +$ (Wärmeverluste der Theilstrecken 1 bis 13 =) $2565 = 43\,565$,
$p_1 = 10\,446$, $l_{14} = 8$,
$d_{14} = 0{,}057$, $\Sigma\zeta_{14} = 0$,
$D_{14} = 0{,}063$, $\frac{1}{\gamma_{14}} = 1{,}65$.

Somit ist:

$$W_{14}' = 1000 \cdot 0{,}063 \cdot 8 = 504,$$

$$p_2 = \sqrt{\frac{0{,}268 \cdot 8}{(100 \cdot 0{,}057)^5}\left\{43\,565\,(43\,565 + 504)\right\}} + (10\,446 + 3060)^2 - 3060 =$$

$$= 10\,471 \text{ kg}.$$

Theilstrecke 18.

Für die Theilstrecke 18 ist der Durchmesser zu berechnen, um die Ungenauigkeiten der Annahmen nach Tabelle 19 zum Ausgleich zu bringen.

$W_{18} = 49\,200 +$ (Wärmeverluste der Theilstrecken 1 bis 17 =) $3508 = 52\,708$,
$p_1 = 10\,471$,
$p_2 = 10\,333 + 500 = 10\,833$,
d_{18} (gewählt nach Tabelle 19, auf die Richtigkeit zu prüfen) $= 0{,}049$,
$D_{18} = 0{,}059$,
$l_{18} = 27$,
$\Sigma\zeta_{18} = 4{,}5$,
$\frac{1}{\gamma_{18}} = 1{,}65$.

Somit ist nach Gl. 227:

$$W_{18}' = 1000 \cdot 0{,}059 \cdot 27 = 1593\ WE,$$

nach Gl. 229:

$$p_2'' = \frac{(52\,708 + 1593)^2 \cdot 4{,}5 \cdot 1{,}65}{(2576 \cdot 0{,}049)^2} = 86 \text{ kg},$$

nach Gl. 230:

$$p_2' = 10\,833 - 86 = 10\,747 \text{ kg},$$

nach Gl. 231:

$$d_{18} = 0{,}01 \sqrt[5]{\frac{0{,}268 \cdot 27\left\{52\,708\,(52\,708 + 1593)\right\}}{(10\,747 - 10\,471)\,(10\,747 + 10\,471 + 6120)}} = 0{,}0487 \text{ m}.$$

Für den berechneten Durchmesser ist das nächst höhere Handelsmafs, d. h. 0,049 m zu wählen.

Die Berechnung hat also ergeben, dass die nach Tabelle 19 bestimmten Durchmesser sämmtlich beizubehalten sind. Wären sehr viele einmalige Widerstände vorhanden gewesen, so würde sich allerdings d_{18} über 0,049 m ergeben haben und hätte die Aufrundung auf 0,057 m erfolgen müssen; dagegen ist zu bedenken, dass nach genauer Einhaltung der Tabelle ebenfalls $d_{18} = 0{,}057$ m zu wählen gewesen wäre (s. S. 339), somit diese Widerstände genügende Berücksichtigung gefunden hätten. Sind also die einmaligen Widerstände bedeutend bei einer Rohrleitung, so weiche

Digitized by Google

man bei der Ausführung von der Tabelle 19 nicht ab, besser ist es jedoch dann stets, da die Tabelle natürlich nicht alle Fälle umfassen kann, eine genaue Nachrechnung vorzunehmen.

Das vorstehende Beispiel ergiebt nach Massgabe der gewählten Druckabfälle für den vom Kessel abgehenden Hauptstrang einen keineren Durchmesser als für die an denselben sich anschliessende Theilstrecke, trotzdem sich vor Beginn derselben eine Leitung abgezweigt hat. Es wird dies in der Praxis bei nicht zu ausgedehnten Anlagen häufig eintreten, sofern die Druckabfälle — wie in dem Beispiele — absichtlich gross in der an den Kessel anschliessenden Theilstrecke, klein in den übrigen Theilstrecken gewählt werden. Der Praktiker möge alsdann die Anlage getrost so ausführen, weil nach dem früher Gesagten (s. S. 323) die Druckabfälle in den Leitungen zu den Heizkörpern möglichst klein gemacht werden sollen.

Fünfzehntes Kapitel.

A. Dampf-Warmwasserheizung.

(Siehe Tafel XXIII.)

1. Allgemeine Anordnung und Anwendungsgebiet.

Dampf-Warmwasserheizung ist eine gewöhnliche Warmwasserheizung, bei der das Wasser im Heizkessel nicht durch die Einwirkung direkten Feuers, sondern durch Einführung von Dampf Erwärmung findet. Sie wird daher mit Vortheil in Gebäuden zur Anwendung gebracht, die durch Warmwasserheizung zu erwärmen sind und vermöge ihrer Ausdehnung mehrere getrennte Anlagen erfordern, trotzdem aber nur eine centrale Wärme-Erzeugung erhalten sollen. Sie eignet sich daher besonders in allen den Fällen, in denen Dampf auch noch zu anderen Zwecken Verwendung zu finden hat oder derselbe von einer Centralstelle aus nach mehreren Gebäuden geführt wird (Fernheizung).

Die gesammte Anlage zerfällt nach dem Gesagten in eine Warmwasserheizung und eine Dampfheizung, die jede für sich in der früher besprochenen Weise anzuordnen und zu berechnen ist.

Für manche Fälle (z. B. Gebäude, die wochentags Dampf von einer Fabrik erhalten können), empfiehlt sich die Dampf-Warmwasserheizung auch für kleinere Anlagen, alsdann aber in der Form, dass das Kesselwasser sowohl durch Dampf als durch direktes Feuer erwärmt werden kann.

Digitized by Google

Die Erwärmung des Wassers durch Dampf soll nicht durch unmittelbare Einführung desselben, sondern mittelbar durch Dampfheizflächen erfolgen. Da die Uebertragung der Wärme des Dampfes an Wasser eine sehr schnelle ist, sind nur verhältnissmässig kleine Heizflächen und somit auch — wenn von der Möglichkeit direkter Beheizung derselben abgesehen wird — kleine Heizkessel für die Warmwasserheizung erforderlich. Die Dampfheizflächen kommen meistens in Form von Röhren in Anwendung, die durch den Warmwasserheizkessel geführt werden.

Es empfiehlt sich, die Dampfheizfläche in zwei unabhängig von einander arbeitende Theile zu zerlegen, die in dem Verhältnisse etwa von 1 und 2 zu einander stehen. Es ermöglicht diese Theilung einen wechselnden Betrieb je nach den Wärme-Erfordernissen.

Da der Dampf stets über 100° warm ist, bei einer Warmwasser-niederdruck-Heizung aber das Wasser nicht höher als bis auf 80° oder 90° erwärmt werden soll, so ist Vorsicht bezüglich einer Ueberwärmung des Wassers geboten. Zweckmässig sind selbstthätige Regeler, ausserdem aber Alarmvorrichtungen, die in Thätigkeit treten, sobald die zulässige Temperatur überschritten wird; am einfachsten eignen sich für letztere elektrische Thermometer in Verbindung mit einem Läutewerke.

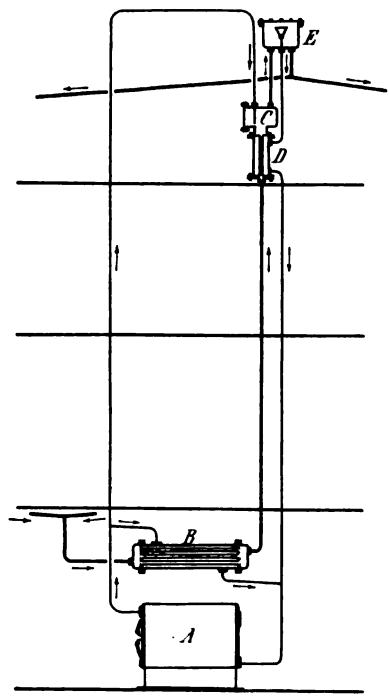


Fig. 70.

In jüngster Zeit ist ein neues System der Dampf-Warmwasserheizung, nach dem Erfinder mit dem Namen „System Reck“ belegt, bekannt geworden. Es beruht darauf, durch direkte Einführung von Dampf in die Steigeleitung einer Warmwasserheizung den Auftrieb in der Wasserbewegung zu steigern um dadurch zu engeren Rohrleitungen zu gelangen. Aus Fig. 70 geht die allgemeine Anordnung und das Princip des „Systems Reck“ hervor.

A ist der Dampfkessel einer Niederdruck-Dampfheizung, *B* der Kessel, in dem das Wasser der Wasserheizung durch Dampf Erwärmung findet. Von *B* steigt das Wasser in dem Steigerohre innerhalb eines Gusskörpers *D* nach *C*. Vom Dampfkessel *A* wird durch ein direktes Rohr in regelbarer Weise Dampf nach *C* geleitet, der durch eine Art Brause in das Wasser der Wasserheizung einströmt.

Digitized by Google

Durch die lebendige Kraft der in dem Rohre *CE* („Motorrohr") aufsteigenden Dampfblasen und durch die Kondensation des Dampfes in diesem Rohre wird ein lebhafter Auftrieb des Wassers bewirkt, der naturgemäss sich für die ganze Wasserheizung geltend macht. Von dem Gefässe *E* fliesst das Wasser der Vertheilungsleitung der Anlage zu. Da der bei *C* in das Wasser eintretende Dampf der Dampfheizungsanlage entnommen ist, so muss derselben eine entsprechend grosse Wassermenge zugeführt werden, ausserdem muss noch der Dampf, der etwa auf dem Wege im Rohre *CE* noch nicht kondensirt ist, fortgeschafft bezw. zum Niederschlagen gebracht werden. Zu diesem Zwecke befindet sich in dem Gefässe *E* ein Ueberlaufrohr, durch das also der noch nicht kondensirte Dampf und so viel Wasser, als der stattgehabten Kondensation entspricht, nach *D* abfliessen kann. Durch Berührung des Gemenges von Wasser und Dampf mit dem in *D* hochgehenden Theile des Steigerohrs der Wasserheizung wird der Dampf völlig kondensirt, das Niederschlagswasser abgekühlt, so dass nunmehr der Abfluss desselben nach dem Dampfkessel erfolgen kann. Die Höhe des Motorrohres *CE* und des Kondensators *D* hängt selbstverständlich von der Grösse der Anlage ab.

Die Zukunft muss beweisen, wie weit sich das System bewährt und Anwendung verdient. Zweifellos ist, dass die Rohrleitungen der Warmwasserheizung sehr geringe Querschnitte erhalten können und dass die baulichen Verhältnisse ihrer Anordnung und Unterbringung fast keine Schwierigkeiten entgegensetzen, weniger zweifellos ist es, ob die engen Querschnitte immer vortheilhaft sind. Werden dieselben auf ein sehr geringes Mafs beschränkt, so muss naturgemäss die Wirkung des Motorrohrs entsprechend gross gemacht werden, alsdann muss es auch bei verhältnissmässig hoher Aussentemperatur in Benutzung bleiben, denn sonst werden die Heizkörper, besonders die entfernt liegenden, nicht genügende Wärme erhalten. Auf die Ventile der Heizkörper wird besondere Sorgfalt zu verwenden sein, da nur sehr kleine Querschnitte geregelt werden müssen. Der grosse Vorzug einer gewöhnlichen Warmwasserheizung, eine generelle Regelung der Wärme-Abgabe der Heizkörper durch die Temperatur des Kesselwassers erzielen zu können, wird beeinträchtigt werden.

Eine genaue Berechnung der Anlage ist ganz besonders nöthig, da nicht genau im richtigen Verhältnisse stehende Fallstränge zur Ausschaltung einzelner von der Wasserbewegung führen können, wenn nicht bei jedem Heizkörper, wie bei der Niederdruck-Dampfheizung, besondere, einmal einstellbare Regelungsvorrichtungen vorgesehen werden. Man kann allerdings das obere Ventil eines jeden Heizkörpers hierzu verwenden, doch die einmalige Regelung nicht umgehen. Die grosse Einfachheit und Sicherheit des Betriebes einer Wasserheizung ist bei dem „System Reck" nicht vorhanden, die Wirkung der Anlage hängt von der Thätigkeit des Motorrohrs ab.

Digitized by Google

Immerhin wird das neue System in vielen Fällen gute Dienste leisten, besonders wenn die Erwärmung von Heizkörpern in Frage kommt, die sehr weit entfernt oder tiefer als der Kessel liegen, da das letztere ohne Weiteres angängig ist. Die Reck-Heizung ist nicht als ein Ersatz der Warmwasserheizung, sondern als eine etwa zwischen der Warmwasser- und Niederdruck-Dampfheizung stehende Anlage zu betrachten und verdient entschieden von diesem Standpunkte aus in vielen Fällen Beachtung.

2. Berechnung einer Dampf-Warmwasserheizung.

Die Berechnung einer gewöhnlichen Dampf-Warmwasserheizung bietet, mit Ausnahme des Apparates zur Wassererwärmung, nichts Neues. Die Wärme, die von Dampf in Wasser durch eine dünne Metallwand stündlich überführt werden kann, ist eine sehr grosse. Peclet giebt für Schlangenröhren die stündliche Kondensation von Dampf zu 5—7 kg auf 1 qm Oberfläche bei 1^0 Temperatur-Unterschied zwischen Dampf und Wasser an, für Apparate, aus denen die Luft nicht gut ausgetrieben werden kann, zu 1—3 kg. Die erstere Angabe scheint etwas zu hoch zu sein. In der Praxis rechnet man in sicherer Weise mit stündlich 1000 bis höchstens 1500 *WE* für 1 qm wasser- und dampfberührter Fläche und für 1^0 Temperatur-Unterschied. Auf gute Austreibung der Luft aus dem vom Wasser umspülten Heizkörper ist jederzeit zu achten, es empfiehlt sich daher am meisten die Anwendung glatten schmiedeeisernen Rohres.

Wichtig ist es, besonders bei Niederdruck-Dampfheizung, wie bereits auf S. 335 hervorgehoben, den erforderlichen Anfangsdruck des Dampfes bei Eintritt in das zur Erwärmung des Wassers dienende Rohr und den Durchmesser dieses Rohres genau zu berechnen, um sicher zu sein, den gewünschten Effekt mit der im Dampfkessel angenommenen Spannung zu erzielen. Hierzu dienen die Gl. 227 bezw. 231 und 236. Ein Beispiel, dessen Schlussbemerkung der Beachtung besonders empfohlen werden soll, wird dies noch weiter klar legen.

Beispiel. Aufgabe. Zur Erwärmung des Wassers einer Dampf-Warmwasserheizung sind stündlich 100000 *WE* erforderlich; die Erwärmung des Wassers erfolgt von 70^0 auf 90^0 durch schmiedeeiserne Röhren. Der Dampfkessel, der bei mittlerem Barometerstande mit einem Ueberdrucke von nicht mehr als 500 kg/qm zu betreiben ist, liegt von dem Wasserkessel 50 m entfernt. Die einmaligen Widerstände in der Dampfleitung bis zum Wasserkessel betragen $\Sigma\zeta = 6$.

Lösung der Aufgabe. Der Ueberdruck im Kessel soll der Aufgabe gemäss 500 kg betragen. Es empfiehlt sich, um einen möglichst grossen Druck bei Eintritt des Dampfes in die Wasserheizröhren zu besitzen, einen geringen Spannungsabfall bis zu dem Wasserkessel anzunehmen. Wird ein solcher von 4 kg für das laufende Meter gewählt, so ist der Endüberdruck, also der zur Verfügung stehende Anfangsüberdruck für den Wasserkessel $500 - 50 \cdot 4 = 300$ kg. Nach Tabelle 19 ergiebt sich für die Dampfleitung bis zum Wasserkessel somit ein Durchmesser von 0,082 m. Um eine Kontrolle zu haben, ob bei diesem Durchmesser auch wirklich der Endüberdruck noch 300 kg beträgt, die Tabelle 19 also ein richtiges Ergebniss geliefert hat,

Digitized by Google

möge zunächst die Berechnung des Drucks am Wasserkessel erfolgen und zwar unter Berücksichtigung der einmaligen Widerstände.

Die Berechnung des Drucks bei Eintritt des Dampfes in den Wasserkessel ist wie folgt vorzunehmen. Die einmaligen Widerstände zehren einen Druck auf, da $W = 100000$, $d = 0{,}082$, $D = 0{,}089$, $l = 50$, $\Sigma\zeta = 6$ und $\frac{1}{\gamma} = 1{,}6$ zu setzen ist, nach Gl. 228 von:

$$p_2'' = \frac{(100000 + 1000 \cdot 0{,}089 \cdot 50)^2\, 6 \cdot 1{,}6}{(2576 \cdot 0{,}082)^4} = 53 \text{ kg},$$

daher ist nach Gl. 229:

$$p_2' = 10333 + 500 - 53 = 10780 \text{ kg}$$

und nach Gl. 231 der Enddruck infolge der Reibung und Wärmeverluste:

$$p_1 = \sqrt{(10780 + 3060)^2 - \frac{0{,}268\, l}{(100 \cdot 0{,}082)^5}\left\{100000\,(100000 + 1000 \cdot 0{,}089 \cdot 50)\right\}} - 3060 = 10643 \text{ kg}.$$

Der Ueberdruck des Dampfes bei Eintritt in den Wasserkessel ist also $10643 - 10333 = 310$ kg, was fast genau mit der Annahme (300) und somit auch mit der Tabelle 19 übereinstimmt. Eine Berechnung hätte in diesem Falle also entbehrt werden können, keinesfalls aber die weiter folgende des Durchmessers der Heizröhren im Wasserkessel.

100000 *WE* sind ständlich an das Wasser zu überführen. Nimmt man die Wärme-Abgabe von 1 qm Rohrspirale bei 1° Temperaturunterschied zwischen Dampf und Wasser zu 1000 *WE* an (s. S. 345) und setzt ferner die Dampftemperatur rund 100°, die mittlere Temperatur der Aufgabe gemäss 80°, so muss die Heizfläche der Rohrspirale $\frac{100000}{100\,(100-80)} = 5$ qm betragen.

Die erforderliche Länge der Heizfläche stellt sich also zu $l = \frac{5}{D\pi}$, was ergeben würde für:

$d = 0{,}025$ m	0,034 m	0,039 m	0,043 m	0,049 m,
$D = 0{,}033$ „	0,042 „	0,049 „	0,052 „	0,059 „ ,
$l =$ 48 „	38 „	34 „	31 „	28 „ .

Nach Gl. 236 berechnet sich die Wärmemenge W_H, die durch ein Rohr von diesen Längen gefördert werden kann, da der Anfangsdruck 10643 kg, der Enddruck 10333 kg, also $m = 10643 - 10333 = 310$ kg betragen soll, für:

d = 0,025 m	0,034 m	0,039 m	0,043 m	0,049 m,
W_H = 13805 *WE*	33493 *WE*	49898 *WE*	66703 *WE*	97290 *WE*.

Es ist also in keinem Falle möglich, die Rohrspirale bei diesen Rohrweiten aus einem Zuge zu fertigen, da 100000 *WE* nicht mehr geliefert werden können.

Wendet man je zwei Spiralen von gleicher, also der halben Länge der oben berechneten an, dann ergiebt sich nach Gl. 236 für jede Spirale die möglich zu liefernde Wärmemenge W_H für:

d = 0,025 m	0,034 m	0,039 m	0,043 m	0,049 m,
W_H = 19539 *WE*	47367 *WE*	70566 *WE*	94334 *WE*	132910 *WE*.

Man kommt also ohne Verschwendung von Rohr nur mit zwei gleich grossen Spiralen von $d = 0{,}039$ m Rohrdurchmesser und einer Länge von je 17 m aus.

Wählt man endlich zwei Spiralen, von denen die eine $^1/_3$, die andere $^2/_3$ der erforderlichen Gesammtlänge hat, dann stellt sich, wenn W_H' die Wärmemenge der kleineren, W_H'' diejenige der grösseren Spirale bezeichnet, für:

d = 0,025	0,034	0,039	0,043	0,049
W_H' = 23930	58166	86553	115720	168810
W_H'' = 18768	40967	60997	81926	119050

Digitized by Google

Man würde also wieder Rohr von 0,039 m lichtem Durchmesser oder die kleinere Rohrspirale aus Rohr von 0,039 m, die längere aus Rohr von 0,034 m lichtem Durchmesser herstellen können.

Durch die Rechnung allein wird man vor zu kleinen, aber auch vor unnöthig grossen Heizflächen, die keine Wirkung mehr haben, geschützt. Häufig sind in der Praxis verfehlte Anlagen, bei denen bei Niederdruckheizung für die Wassererwärmung der Dampf nicht ausreicht, lediglich auf die ungenügende Berechnung zurückzuführen.

Die Berechnung des „Systems Reck“ hat, wenn die Wirkung des „Motorrohrs“ bekannt ist, wie diejenige einer Warmwasserheizung zu erfolgen, natürlich unter Einführung der eintretenden Dichtigkeit des Wassers für die zur Bewegung des Wassers und Ueberwindung der Widerstände zur Verfügung stehende wirksame Druckhöhe.

Fig. 71 stellt den einfachsten Fall einer Reck-Heizung dar. Die Dampfleitung ist fortgeblieben, da dieselbe bei Bestimmung der Rohrdurchmesser der Wasserheizung nicht in Frage kommt.

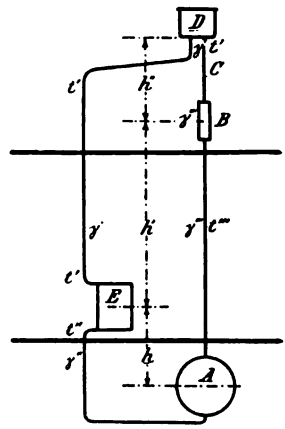


Fig. 71.

A ist der Dampfkessel (direkt oder durch Dampf geheizt), B der Kondensator, D das Ueberlaufgefäss, die Rohrverbindung von B und D das Motorrohr C, E ein Heizkörper. Die Wärme-Aufnahme bezw. Wärme-Abgabe ist wie früher in die Mitte von A bezw. B bezw. E zu verlegen. Die Dichtigkeit des Wassers soll allgemein mit γ, die Höhen mit h, die Temperaturen mit t bezeichnet werden, die besonderen Bezeichnungen der einzelnen Strecken gehen aus Fig. 71 hervor. Im Kessel A wird das Wasser auf die Temperatur t_1' erwärmt, im Kondensator B und Motorrohr C erfährt es eine weitere Erwärmung bis auf t_2'. Die gesammte Rohrleitung hat den gleichen Durchmesser d.

a) Erforderliche Geschwindigkeit in der Rohrleitung. Die erforderliche Geschwindigkeit ist wie früher nach Gl. 130:

$$v = \frac{W}{A d^2 (t' - t'')}$$

zu setzen, wenn A den Werth wieder wie auf S. 217 hat, W die vom Heizkörper stündlich abzugebende Wärmemenge, t' die Ein-, t'' die Austrittstemperatur des Wassers am Heizkörper bedeutet.

b) Erreichbare Geschwindigkeit. Die Wirkung des Motorrohres durch die Kondensation und Bewegung des Dampfes bleibe zunächst unberücksichtigt. Die Druckhöhe (s. a. S. 218) ist nun in der

steigenden Wassersäule: $(h + h')\gamma''' + h''\left(\frac{\gamma' + \gamma'''}{2}\right)$,

fallenden „ $h\gamma'' + (h' + h'')\gamma'$,

Digitized by Google

somit der Unterschied beider:

$$h(\gamma'' - \gamma''') + h'(\gamma' - \gamma''') + h\left(\frac{\gamma'}{2} - \frac{\gamma'''}{2}\right).$$

Die mittlere Dichtigkeit des Wassers im Systeme ist zu setzen:

$$\frac{h(\gamma'' + \gamma''') + h'(\gamma' + \gamma''') + h''\left(1{,}5\,\gamma' + \frac{\gamma'''}{2}\right)}{2(h + h' + h'')},$$

daher ist die wirksame Druckhöhe für den Heizkörper E, bezogen auf Wasser von 0^0, sofern diese mit N bezeichnet wird:

$$N = \frac{h(\gamma'' - \gamma''') + h'(\gamma'' - \gamma''') + h''\left(\frac{\gamma'}{2} - \frac{\gamma'''}{2}\right)}{\frac{h(\gamma'' + \gamma''') + h'(\gamma' + \gamma''') + h''\left(1{,}5\,\gamma' + \frac{\gamma'''}{2}\right)}{2(h + h' + h'')}}$$

Es hat N dieselbe Bedeutung wie die in Gl. 133 mit ah bezeichnete wirksame Druckhöhe und muss somit sein:

$$N = \frac{v^2}{2g}\left(\frac{\varrho}{d}\,l + \Sigma\zeta\right).$$

Wird nun die Vergrösserung der wirksamen Druckhöhe, die das Motorrohr erzeugt, mit M bezeichnet, so ist die für die Berechnung in Frage kommende wirksame Druckhöhe $M + N$ und somit die Gleichung für die erreichbare Geschwindigkeit:

$$M + N = \frac{v^2}{2g}\left(\frac{\varrho}{d}\,l + \Sigma\zeta\right).$$

Die Grösse M bleibt für den Stromkreis eines jeden Heizkörpers die gleiche, der Werth N kann für die Heizkörper ein- und desselben Stockwerks, sofern dieselben nahezu die gleiche Höhe haben, als gleich gross angenommen werden, so dass also N nur für jedes Stockwerk einmal zu bestimmen ist. Die Druckhöhe N ist stets negativ, positiv wird sie nur, wenn das Motorrohr ausser Betrieb ist. Die Wirkung des Motorrohres wird durch Versuche zu bestimmen sein. Nach den Angaben von Reck soll man die halbe Höhe des Motorrohrs als die durch dasselbe erzeugte wirksame Druckhöhe (M) in Ansatz bringen. Um nicht zu kleine Rohrquerschnitte zu erhalten, dürfte es sich empfehlen, bei der Berechnung die ursprüngliche Erwärmung des Wassers im Kessel A zu etwa 60^0 anzunehmen und die Steigerung der Temperatur durch das Motorrohr hervorzurufen, so dass also etwa bei mittlerer Wintertemperatur ohne Benutzung des Motorrohrs auszukommen ist.

Digitized by Google

B. Dampf-Wasserheizung.

(Siehe Tafel XXIII.)

Dampf-Wasserheizung kann in Frage kommen, wenn bei grossen Gebäuden nur eine Feuerstelle wünschenswerth erscheint, die Räume besonders schnelle Erwärmung erfahren müssen und doch nach Einstellen des Betriebes Wärmequellen in den Räumen verbleiben sollen.

Zu diesem Zwecke sind zwei Arten von Heizkörpern in Anwendung. Die Heizkörper der ersten Art sind zum Theil mit Wasser gefüllt; über denselben tritt der Dampf ein. Es befinden sich in dem Heizkörper ein oder mehrere Ueberlaufrohre zur Ableitung des sich bildenden Niederschlagswassers, in die gleichzeitig der Dampf eintritt und auf diese Weise eine rasche Erwärmung des Wasserinhalts hervorruft.

Die Heizkörper der zweiten Art sind ebenfalls ganz oder zum Theil mit Wasser gefüllt, die Erwärmung desselben erfolgt aber durch Dampfheizflächen, gewöhnlich in Form von Röhren. Für die Möglichkeit eines zeitweiligen Nachfüllens von Wasser ist alsdann Sorge zu tragen, ebenso, dass bei der Erwärmung des Wassers ein der Ausdehnung entsprechendes Volumen Wasser bezw. Luft austreten kann. Entweder ordnet man zu diesem Zwecke auf jedem Heizkörper einen Windkessel an, oder verbindet alle Heizkörper mit einem gemeinschaftlichen Windkessel bezw. Ausdehnungsgefässe auf dem Dachboden.

Bis zum Beharrungszustande arbeiten die Heizkörper meist mit Geräusch, ganz besonders die mit unmittelbarem Dampfeintritte. Es besteht ferner der Nachtheil, dass, wenn das Wasser in den Heizkörpern sich erwärmt hat, eine Wärmeregelung nicht mehr möglich und dass die gewünschte Wärme-Aufspeicherung nur eine verhältnissmässig geringe ist. Während vor etwa 25 Jahren die Dampf-Wasserheizung eine grosse Ausdehnung fand, wird sie gegenwärtig der angeführten Mängel halber verhältnissmässig selten angewendet. Sie vereinigt eigentlich so ziemlich alle Fehler der Dampf- und der Wasserheizung, ohne deren Vorzüge zu besitzen.

Die Berechnung hat nach derjenigen der Dampfheizung zu erfolgen, nur müssen die Wärmemengen, die zur Erwärmung des Wassers beim Anheizen nöthig sind, ebenfalls bei der Grössenbestimmung der Dampfkessel berücksichtigt werden.

Eine bessere und in manchen Fällen zur Anwendung empfehlenswerthe Ausbildung der Dampf-Wasserheizung würde, unter Benutzung von Niederdruckdampf, darin bestehen, dass die senkrechten Dampffallstränge in Höhe eines jeden Heizkörpers mit einem etwas weiteren

Digitized by Google

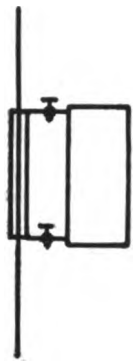


Fig. 72.

geschlossenen Rohrstücke umgeben werden, das in Verbindung mit dem mit Wasser gefüllten Heizkörper steht (s. Fig. 72). Durch ein dazwischen geschaltetes Ventil lässt sich der Wasserumlauf, also auch die Wärme-Abgabe wie bei jeder Warmwasserheizung regeln. Natürlich müssen alle Heizkörper durch eine Rohrleitung von geringem Durchmesser mit einem Ausdehnungsgefässe auf dem Dachboden in Verbindung gebracht werden. Die Anordnung hat den Vortheil, dass man z. B. zur Vorwärmung der Luft alsdann Dampfheizkörper benutzen kann, zur Erwärmung der Räume eine Warmwasserheizung besitzt.

Sechzehntes Kapitel.

Luftheizung.

(Siehe Tafel XXIV—XXVIII.)

Mit dem Namen Luftheizung wird diejenige Heizungsanlage bezeichnet, bei der die Erwärmung der Räume lediglich durch eingeführte warme Luft erfolgt.

Befindet sich in oder neben einem Raume der zur Erwärmung erforderliche Heizkörper, so wird durch Umgebung desselben mit einem festen Mantel und Hindurchführen der Raumluft durch diesen Mantel an dem Heizkörper vorbei eine lokale Luftheizung geschaffen, befindet sich der Heizkörper in einem tiefer gelegenen Geschosse, so spricht man von centraler Luftheizung oder kurzweg von „Luftheizung“; das Nachfolgende bezieht sich auf die letztere.

I. Anordnung, Ausführung und Anwendungsgebiet einer Luftheizung.

Die Anordnung und Ausführung einer Luftheizung unterscheiden sich, sofern durch dieselbe gleichzeitig eine Erneuerung der Luft in den Räumen hervorgebracht wird, in keiner Weise von derjenigen einer Lüftungsanlage, so dass in dieser Beziehung auf den Abschnitt „Lüftung“ verwiesen werden kann.

Insofern eine Erneuerung der Raumluft nicht mit der Luftheizung verbunden sein soll, unterscheidet sie sich von einer Lüftungsanlage

Digitized by Google

lediglich durch die Rückleitung der Abluft nach dem Heizapparate behufs erneuter Erwärmung und Einführung in die Räume. Eine derartige Luftheizung wird mit dem Namen „Circulations-“ oder „Umlaufluftheizung“ bezeichnet. Sie ist aus hygienischen Gründen nicht zu empfehlen und sollte daher in der Praxis nur für das Anheizen grösserer Räume (Säle, Kirchen u. s. w.) behufs Ersparniss von Betriebskosten angeordnet und benutzt werden.

Das Anwendungsgebiet einer Luftheizung wird selbstverständlich durch ihre Eigenschaften begrenzt.

Da die Erwärmung eines Raumes durch Einführung warmer Luft nur dann möglich ist, wenn gleichzeitig eine Ableitung von Luft erfolgt, so verbindet die Luftheizung — sofern von Umlaufluftheizung abgesehen wird — die Erwärmung mit der Lüftung. Diese Eigenschaft kann ein Vortheil, unter Umständen aber auch ein Nachtheil sein, denn da ein Raum zu seiner Erwärmung bei vorgeschriebener Temperatur der einströmenden Luft einen ganz bestimmten Luftwechsel bedingt, so wird bei einem grossen Wärmebedarfe zur Erzielung der gewünschten Temperatur und bei geringer Benutzung oder Besetzung des Raumes ein unnöthig grosser Luftwechsel erforderlich und durch diesen somit die Oekonomie des Betriebes ungünstig beeinflusst.

Soll eine Anzahl Räume durch einen gemeinschaftlichen Heizkörper Erwärmung finden, die einen bestimmten Lüftungsbedarf besitzen (Schulen u. s. w.), dem die Anlage gerecht werden muss, so erfordert jeder Raum eine bestimmte dem Wärmebedarfe entsprechende Einströmungstemperatur der Luft. Da am gemeinschaftlichen Heizkörper die Luft nur auf eine Temperatur erwärmt werden kann, so muss für jeden Raum die Mischung eines entsprechenden Theiles der erwärmten Luft mit unerwärmter Luft vorgesehen werden, was naturgemäss eine Erschwerung der Bedienung um so mehr zur Folge hat, als bei gleichbleibender Besetzung der Räume der Luftwechsel eine Aenderung nicht erfahren soll, gleichwohl das Wärmebedürfniss je nach der Aussentemperatur oft grossen Schwankungen unterworfen ist. Viele Klagen bei Luftheizungen sind auf diesen Umstand zurückzuführen.

Endlich ist darauf hinzuweisen, dass für die Bewegung der Luft bei Luftheizungen ohne Ventilatorbetrieb eine nur verhältnissmässig geringe Kraft zur Verfügung steht und daher diese, wenn das Gebäude dem Windanfalle ausgesetzt ist, störenden Einflüssen unterworfen werden kann. Wenn man sich ab und zu auch mit einem geringeren als dem geforderten Luftwechsel abzufinden in der Lage ist, so wird man doch keinesfalls mit unzulänglichen Temperaturgraden sich begnügen können.

Aus dem Gesagten geht hervor, dass für Gebäude, die dem Windanfalle in besonderem Mafse ausgesetzt sind, Luftheizung nicht

Digitized by Google

anzuwenden ist, dass sie ferner nicht zu empfehlen ist für Räume, die einen grossen Wärmebedarf, aber nur einen geringen Lüftungsbedarf besitzen und dass bei der Ausführung einer Luftheizung thunlichst ein jeder Raum, in dem ein bestimmter Luftwechsel eingehalten werden soll, einen besonderen Heizkörper erhält.

Da die Erfüllung der letzten Bedingung bei direkt geheizten Heizkörpern (Feuerluftheizung) wiederum die Bedienung erschwert und ökonomische Nachtheile bedingt, eignet sich für Räume mit vorgeschriebenem Luftwechsel hauptsächlich die Wasser- bezw. Dampf-Luftheizung.

In richtiger Weise angewendet und ausgeführt, kann jedoch in vielen Fällen die Luftheizung nicht nur am Platze sein, sondern zu dem allein richtigen und in Frage kommenden Heizsysteme werden, vor allen Dingen dann, wenn sich eine grosse Anzahl Personen in einem Raume zu versammeln hat, so dass die Anlage vor Benutzung des Raumes hauptsächlich zur Erwärmung, während der Benutzung hauptsächlich zur Lüftung bezw. auch zur Kühlung Verwendung finden muss (Theater, Sitzungssäle u. s. w.).

Die Vorwürfe, die man oftmals gegen die Luftheizung erhebt, dass sie die Luft „austrockne", sind nach dem auf S. 34 Gesagten unrichtige, dagegen ist nicht zu leugnen, dass durch den oftmals erforderlichen grossen Luftwechsel eine austrocknende Wirkung bei den von der Luft berührten Gegenständen hervorgerufen werden kann, wenn nicht für eine genügende Befeuchtung der Luft Vorsorge getragen wird. Fehlerhafte Ausführungen von Luftheizungen haben häufig fälschlicherweise dahin geführt, der Luftheizung als solcher den Krieg zu erklären. Es ist überhaupt bedauerlich, dass häufig der Besitz einer Lüftungs- und Heizungsanlage den Laien dahin führt, sich als Sachverständiger zu fühlen und allgemeine, meist gänzlich unrichtige Urtheile abzugeben.

II. Die Kanalanlage einer Luftheizung.

1. Anordnung der Kanäle Abkühlung der Luft in denselben.

Die Anordnung der Kanäle einer Luftheizung unterscheidet sich in nichts von derjenigen einer nur Lüftungszwecken dienenden Anlage, weshalb auf das unter „Lüftung" Gesagte verwiesen werden muss. Da die Kanäle höhere als auf Raumtemperatur erwärmte Luft zu führen haben, so muss auf einen guten Schutz derselben vor Abkühlung Rücksicht genommen werden. Die Ausdehnung der Kanäle in horizontaler Beziehung ist, sofern die Bewegung der Luft nur mittels Temperaturunterschiedes erfolgt, eine verhältnissmässig sehr begrenzte; dieser Punkt hat ebenfalls bei den Lüftungsanlagen Erörterung gefunden. Wenn Ventilatorbetrieb (Pulsions-Luftheizung) angenommen wird, so kann die Luft auf weite horizontale Strecken

Digitized by Google

geführt werden (Sturtevant), dann aber gewinnt die Frage der Abkühlung der Kanäle erhöhte Bedeutung.

Die Wärmemenge, die die Luft auf ihrem Wege in einem Kanale verliert, muss im Beharrungszustande gleich der Wärmemenge sein, die der Kanal an die ihn umgebende Luft überträgt.

Ist also:

G die stündlich zu fördernde Luftmenge in kg,
F die äussere, Wärme abgebende, Fläche des Kanals in qm,
t_1 die Anfangstemperatur der Luft im Kanale,
t_2 die Endtemperatur der Luft im Kanale,
t_z die Temperatur der den Kanal umgebenden, d. h. demselben zuströmenden Luft,
c die specifische Wärme der Luft $= 0{,}237$,
h der Transmissionskoefficient der Kanalwand (s. Tab. 13, IV),

so muss sein:

$$Gc(t_1 - t_2) = Fk\left(\frac{t_1 + t_2}{2} - t_z\right), \qquad (238\,a)$$

woraus sich ergiebt:

$$t_1 = \frac{(2Gc + Fk)\,t_2 - 2Fkt_z}{2Gc - Fk}. \qquad (238\,b)$$

An einem Beispiele möge gezeigt werden, welchen Einfluss die Länge einer Rohrleitung auf die Abkühlung der in derselben geförderten Luft ausübt.

Beispiel. Aufgabe. In einem Blechrohre von 1 mm Wandstärke sind stündlich 100 kg Luft zu fördern, die in das Rohr mit 50° eintreten und das Rohr mit einer Temperatur nicht unter 40° verlassen sollen. Die das Rohr umgebende Luft hat eine Temperatur von 15°. Es ist anzugeben, welchen Durchmesser das Rohr haben muss und welche Länge es erhalten kann, wenn die sekundliche Geschwindigkeit der geförderten Luft 2, 4, 6, 8 oder 10 m beträgt. Die Angaben haben sich sowohl auf ein Rohr zu erstrecken, das vor Wärme-Abgabe nicht und das vor Wärme-Abgabe durch Seidenumhüllung gut geschützt ist.

Lösung der Aufgabe. Gemäss der Aufgabe ist: $G = 100$, $t_1 = 50$, $t_2 = 40$, $t_z = 15$ und somit nach Gl. 238a:

$$100 \cdot 0{,}237\,(50 - 40) = Fk\left(\frac{50 + 40}{2} - 15\right),$$

also:

$$Fk = 7{,}9.$$

Bezeichnet d den inneren Durchmesser des Rohres in m, so ist gemäss der Aufgabe der äussere Durchmesser $d + 0{,}002$ m und somit $F = (d + 0{,}002)\,\pi l$, also:

$$(d + 0{,}002)\,\pi lk = 7{,}9,$$

wenn l die Länge des Kanals bedeutet.

Die mittlere Temperatur der zu fördernden Luft beträgt $\frac{40 + 50}{2} = 45°$, die mittlere zu fördernde Luftmenge in cbm also, da 1 cbm von 45° nach Tabelle 1:

Digitized by Google

1,11 kg wiegt, 90 cbm in der Stunde oder 0,025 cbm in der Sekunde. Es ergiebt sich somit für die verschiedenen Geschwindigkeiten der Luft folgende Zusammenstellung. Der Transmissionskoefficient k ist der Tabelle 13, IV entnommen.

Geschwindigkeit der Luft im Rohre in m	Durchmesser des Rohres in m		Aeusserer Umfang des Rohres in m	k	Länge des Rohres in m, wenn vor Wärme-Abgabe	
	innen	aussen			nicht geschützt	gut geschützt
2	0,126	0,128	0,402	3,7	5,3	26,5
4	0,089	0,091	0,286	4,7	5,9	29,5
6	0,073	0,075	0,236	5,3	6,4	32,0
8	0,063	0,065	0,204	5,7	6,8	34,0
10	0,057	0,059	0,185	5,9	7,2	36,0

Aus dem Beispiele geht hervor, dass die Abkühlung der Luft bei Leitung derselben in dünnwandigen eisernen Kanälen ziemlich bedeutend ist, auch wenn die Kanäle vor Wärme-Abgabe gut geschützt werden, ferner zeigt sich, dass, trotzdem der Transmissionskoefficient mit wachsender Geschwindigkeit der Luft zunimmt, es stets rathsam ist, die Geschwindigkeit der Luft nicht zu klein zu wählen.

2. Berechnung der Kanalquerschnitte.

Da sich eine Luftheizung von einer lediglich Heizungszwecken dienenden Anlage nur durch die höhere Temperatur der Zuluft unterscheidet, so bleibt die Berechnung der Kanalquerschnitte an sich die gleiche und ist in dieser Beziehung somit auf das bei den Lüftungsanlagen Gesagte zu verweisen. Ehe jedoch an die Berechnung der Kanalquerschnitte herangetreten werden kann, hat eine Ermittelung der in Frage kommenden Luftmengen und Temperaturen zu erfolgen. Hierbei sind zwei Fälle zu unterscheiden, d. h. der Luftwechsel in den zu erwärmenden Räumen ist entweder nicht vorgeschrieben, alsdann hat sich derselbe nach der zu liefernden Wärmemenge und der anzunehmenden Temperatur der Zuluft zu richten, oder er ist vorgeschrieben, alsdann kann die Temperatur der Zuluft nicht mehr gewählt werden.

Fall 1. Der Luftwechsel in den zu erwärmenden Räumen ist nicht vorgeschrieben.

a) Erforderlicher Luftwechsel zur Erwärmung eines Raumes. Bedeutet:

L den stündlichen zur Erwärmung eines Raumes erforderlichen Luftwechsel in cbm,
W den stündlichen Wärmebedarf eines Raumes bei der niedrigsten Aussentemperatur in WE,
t die Temperatur des zu erwärmenden Raumes,
t' die Temperatur der Zuluft,

Digitized by Google

so ist gemäss der Gl. 15 (S. 16):

$$L = \frac{W(1+\alpha t)}{0{,}306\,(t'-t)}. \qquad (239)$$

b) Luftmenge, die bei der niedrigsten Aussentemperatur von aussen zu entnehmen ist. Dieselbe stellt sich nach Gl. 3 zu:

$$L_0 = \frac{L(1+\alpha t_0)}{1+\alpha t} \text{ cbm.} \qquad (240)$$

Sind mehrere Räume durch einen Heizapparat zu erwärmen, so ist naturgemäss die gesammte von aussen mit t_0 zu entnehmende Luft:

$$\Sigma L_0 = \frac{\Sigma L(1+\alpha t_0)}{1+\alpha t} \text{ cbm.} \qquad (241)$$

c) Luftmenge, die am Heizapparate zu erwärmen ist. Bezeichnet L_H die am Heizapparate von t_0 zu erwärmende Luft, so ist diese im vorliegenden Falle:

$$L_H = L_0 \quad \text{bezw.} \quad \Sigma L_H = \Sigma L_0.$$

d) Luftmenge, die der Berechnung der Kanalquerschnitte zu Grunde zu legen ist. In der Praxis wird meist die nach der Gl. 239 berechnete Luftmenge L auch der Bestimmung der Kanalquerschnitte zu Grunde gelegt, alsdann unter Einsetzung des betreffenden Werthes von W für die höchste Aussentemperatur, bei der noch der Betrieb der Heizung anzunehmen ist (etwa $+10^0$), aus derselben die Einströmungstemperatur bestimmt und mit dieser die Berechnung der Kanalquerschnitte vorgenommen. Dieses Verfahren ist ein unrichtiges, man erhält mit demselben wesentlich zu weite und daher oftmals den Effekt beeinträchtigende Querschnitte. Die Gl. 239 kann ohne Weiteres nicht zu dem angegebenen Zwecke Verwendung finden, da für eine höhere Aussentemperatur sowohl L als t' Unbekannte sind.

Da derselbe Kanal zur Zuführung der Luft bei der niedrigsten wie bei der höchsten Aussentemperatur zu dienen hat, so muss naturgemäss für die letztere gemäss Gl. 239 der Ausdruck gelten:

$$L_1 = \frac{W_1(1+\alpha t)}{0{,}306\,(t_1'-t)}, \qquad (242)$$

sofern die Buchstaben sinngemäss die gleiche Bedeutung haben.

Bezeichnet:

Digitized by Google

h die Höhe des Zuluftkanals in m,
v_0 bezw. v_1 die Geschwindigkeit der Luft in dem Kanale bei der niedrigsten bezw. höchsten Aussentemperatur in m,
Z die für den Kanal stets gleich bleibenden Widerstände,
t_0 bezw. t_1 die niedrigste bezw. höchste Aussentemperatur, bei der zu heizen ist,

so gelten nach Früherem (s. Gl. 39) die Gleichungen:

$$v_0 = \sqrt{\frac{2gh\alpha(t'-t_0)}{(1+\alpha t_0)(1+Z)}} \quad \text{und} \quad v_1 = \sqrt{\frac{2gh\alpha(t_1'-t_1)}{(1+\alpha t_1)(1+Z)}},$$

somit:

$$\frac{v_1}{v_0} = \sqrt{\frac{(t_1'-t_1)(1+\alpha t_0)}{(t'-t_0)(1+\alpha t_1)}}.$$

Da nun ferner für ein und denselben Kanal bei gleichbleibender Raumtemperatur sein muss:

$$\frac{v_1}{v_0} = \frac{L_1}{L} = \frac{W_1(t'-t)}{W(t_1'-t)}, \tag{243}$$

so folgt:

$$\frac{W_1(t'-t)}{W(t_1'-t)} = \sqrt{\frac{(t_1'-t_1)(1+\alpha t_0)}{(t'-t_0)(1+\alpha t_1)}}. \tag{244}$$

Aus dieser Gleichung lässt sich t_1' berechnen. Um W_1 nicht durch umständliche Rechnung zunächst bestimmen zu müssen, lässt sich ohne wesentlichen Fehler der jeweilige Wärmebedarf eines Raumes proportional dem Unterschiede zwischen der Innen- und Aussentemperatur, also:

$$\frac{W_1}{W} = \frac{t-t_1}{t-t_0} \tag{245}$$

setzen.

Ist t_1' bestimmt, so berechnet sich aus Gl. 242 auch L_1, das neben t_1' der Berechnung der Kanalanlage zu Grunde gelegt werden muss. L_1 bezieht sich wie L auf die Temperatur t des Raumes.

Auf absolute Genauigkeit können allerdings die Ergebnisse keinen Anspruch machen, da nur ein aufsteigender Kanal angenommen und jede Widerstandshöhe bis zu demselben nicht berücksichtigt worden ist. Indess kann der Fehler vernachlässigt werden, weil eher ein wenig zu weite als zu enge Kanäle sich ergeben.

Zum praktischen Gebrauche ist nach dem Vorstehenden für die gebräuchlichsten Temperaturen die folgende Tabelle berechnet worden.

Digitized by Google

Erforderliche Einströmungstemperatur (t') der Luft zur Deckung der Wärmeverluste bei -20^0 Aussentemperatur	Raumtemperatur $t=+20^0$			Raumtemperatur $t=+15^0$		
	Höchste, der Berechnung der Kanalanlage zu Grunde zu legende Aussentemperatur					
	$t_1=+0^0$	$+5^0$	$+10^0$	$+0^0$	$+5^0$	$+10^0$
30^0	$\frac{L_1}{L}=0{,}704$	0,615	0,521	0,676	0,564	0,429
35^0	„ $=0{,}714$	0,625	0,528	0,680	0,560	0,433
40^0	„ $=0{,}725$	0,638	0,538	0,687	0,581	0,441
50^0	„ $=0{,}733$	0,650	0,547	0,698	0,592	0,452

Der Gebrauch der Tabelle geht bereits aus dem Gesagten hervor. Gegeben, d. h. durch Rechnung bestimmt ist jederzeit der Luftwechsel L bei der niedrigsten Aussentemperatur. Anzunehmen ist die höchste Aussentemperatur t_1, bei der noch ein Heizbetrieb stattfinden muss — in der Regel wird dies $+10^0$ sein. Hat man dann für diese der Tabelle den Werth für $\frac{L_1}{L}$ entnommen, so ist die Luftmenge in der Temperatur t, die der Berechnung der Kanalanlage zu Grunde gelegt werden muss, d. h. L_1, bekannt.

e) Temperaturen, die der Berechnung der Kanalquerschnitte zu Grunde zu legen sind. α) Aussentemperatur. Als Aussentemperatur ist die bereits für L_1 angenommene, d. h. die höchste, bei der noch der Heizbetrieb stattfinden wird (etwa $+10^0$), in Ansatz zu bringen.

β) Temperatur der Zuluft. Die Temperatur der Zuluft, die der Berechnung der Kanalquerschnitte zu Grunde zu legen ist, folgt unmittelbar aus Gl. 242:

$$t_1' = t + \frac{W_1(1+\alpha t)}{0{,}306\, L_1}, \qquad (246)$$

oder da nach dem Ausdrucke 245 $W_1 = W\frac{t-t_1}{t-t_0}$ gesetzt werden kann:

$$t_1' = t + \frac{W(1+\alpha t)}{0{,}306\, L_1}\,\frac{t-t_1}{t-t_0}, \qquad (247)$$

worin also W_1 bezw. L_1 den Wärmebedarf bezw. die bereits unter b) bestimmte Menge der einzuführenden Luft bei der höchsten Aussentemperatur t_1, bei der der Heizbetrieb stattfinden wird, W wie früher den Wärmebedarf bei der niedrigsten Aussentemperatur t_0 bedeutet.

Digitized by Google

Fall 2. Der Luftwechsel in den zu erwärmenden Räumen ist vorgeschrieben.

In diesem Falle soll also gleichzeitig eine bestimmte Wärme- und eine bestimmte Luftmenge den Räumen zugeführt werden.

a) Bestimmung der Einströmungstemperatur der Zuluft für den grössten Wärmebedarf unter Annahme des vorgeschriebenen Luftwechsels, bezw. Feststellung des erforderlichen Luftwechsels bei der niedrigsten Aussentemperatur. Bedeutet:

L_v den vorgeschriebenen stündlichen Luftwechsel eines Raumes, gegeben in cbm bei der Raumtemperatur t,
L_e den stündlichen nur zur Erwärmung desselben Raumes erforderlichen Luftwechsel in cbm,
W den stündlichen Wärmebedarf des Raumes bei der niedrigsten Aussentemperatur,
t die Temperatur des Raumes,
t' die Temperatur der Zuluft,

so muss nach Gl. 239 sein:

$$L_v = \frac{W(1+\alpha t)}{0{,}306\,(t'-t)},$$

somit

$$t' = t + \frac{W(1+\alpha t)}{0{,}306\,L_v}. \qquad (248)$$

Ist t' grösser als die höchste zulässige Temperatur, so muss der Luftwechsel zu Zwecken der genügenden Erwärmung des Raumes bei der niedrigsten Aussentemperatur grösser als vorgeschrieben angenommen werden, d. h. es muss für die niedrigste Aussentemperatur der Luftwechsel wie bei Fall 1 gesetzt werden:

$$L_e = \frac{W(1+\alpha t)}{0{,}306\,(t'-t)}, \qquad (249)$$

wobei dann t' die höchste zulässige Temperatur der Zuluft bedeutet.

Aus dem Gesagten geht hervor, dass das Vorschreiben eines bestimmten Luftwechsels sich nur immer auf das Mindestmafs desselben beziehen kann.

Sind mehrere Räume durch einen Heizapparat zu erwärmen, so muss für jeden Raum die Einströmungstemperatur berechnet und die höchste derselben, bezw. bei Ueberschreiten der zulässigen höchsten Temperatur, diese unter entsprechender Vergrösserung des Luftwechsels für die Erwärmung der Gesammtluft am Heizapparate beibehalten werden. Der in die übrigen Räume einzuführenden Luft muss event. so viel ungewärmte Luft beigemischt werden, dass die berechneten Einströmungstemperaturen erreicht werden.

Digitized by Google

b) Luftmenge, die bei der niedrigsten Aussentemperatur von aussen zu entnehmen ist. Dieselbe stellt sich nach Gl. 240, wenn der in der Raumtemperatur t vorgeschriebene Luftwechsel L_v zur Erwärmung des Raumes ausreicht, zu:

$$L_0 = \frac{L_v(1+\alpha t_0)}{1+\alpha t} \text{ cbm}, \qquad (250)$$

wenn der vorgeschriebene Luftwechsel zu Zwecken der Erwärmung des Raumes vergrössert werden muss, zu:

$$L_0 = \frac{L_e(1+\alpha t_0)}{1+\alpha t} \text{ cbm}. \qquad (251)$$

Sind mehrere Räume durch einen Heizapparat zu erwärmen, so sind die in Rechnung zu stellenden Luftmengen der einzelnen Räume zu addiren. Wird die Summe derselben mit ΣL bezeichnet, so ist die gesammte von aussen mit der Temperatur t_0 zu entnehmende Luftmenge:

$$\Sigma L_0 = \frac{\Sigma L(1+\alpha t_0)}{1+\alpha t} \text{ cbm}. \qquad (252)$$

c) Luftmenge, die am Heizapparate zu erwärmen ist. Ist

L_0 die Luftmenge, die zur Erwärmung eines Raumes von aussen bei der niedrigsten Temperatur t_0 entnommen werden muss in cbm,

L_H der Theil dieser Luftmenge, der am Heizapparate von der Temperatur t_0 auf die Temperatur t_H erwärmt werden muss,

t' die erforderliche Temperatur der Zuluft behufs Erwärmung des Raumes,

so muss sein:

$$\frac{0{,}306 \cdot L_H(t_H - t_0)}{1+\alpha t_0} = \frac{0{,}306\, L_0(t' - t_0)}{1+\alpha t_0}, \text{ somit folgt:}$$

$$L_H = L_0 \frac{t' - t_0}{t_H - t_0}. \qquad (253)$$

Bei mehreren Räumen, die von einem Heizapparate zu erwärmen sind, ist für jeden mit Hilfe dieser Gleichung das L_H unter Einführung der entsprechenden Zulufttemperatur t' zu berechnen, wobei L_0 nach der unter b) angegebenen Weise bestimmt werden muss. Alsdann stellt ΣL_H die am Heizapparate von t_0 auf t_H zu erwärmende Luftmenge dar.

d) Luftmenge, die der Berechnung der Kanalquerschnitte zu Grunde zu legen ist. Das in Fall 1 unter d) Gesagte hat auch in

Digitized by Google

diesem Falle Anwendung zu finden, wenn der bei der niedrigsten Aussentemperatur zur Erwärmung der Räume nöthige Luftwechsel grösser ist, als der geforderte. Bezeichnet also wiederum:

L_v den vorgeschriebenen Luftwechsel in cbm,
L_1 den lediglich nach Massgabe der Erwärmung der Räume bei der höchsten Aussentemperatur (bis zu der der geforderte Luftwechsel erzielt werden soll) nöthigen Luftwechsel,

so muss $L_1 > L_v$ sein, wenn L_1 für die Berechnung der Kanalquerschnitte zu Grunde gelegt werden soll, andernfalls ist L_v anzunehmen.

Für die Bestimmung von L_1 ist das bei Fall 1 Gesagte massgebend; für den praktischen Gebrauch kann somit auch wieder die Tabelle auf S. 357 Benutzung finden. Aus derselben geht das Verhältniss $\frac{L_1}{L}$ hervor, in dem L wieder wie bei Fall 1 den zur Erwärmung der Räume bei der niedrigsten Aussentemperatur erforderlichen Luftwechsel bezeichnet.

e) Temperaturen, die der Berechnung der Kanalquerschnitte zu Grunde zu legen sind. α) Aussentemperatur. Als Aussentemperatur ist die höchste, bei der noch der volle Luftwechsel erzielt werden soll und für die auch das L_1 berechnet worden ist, anzunehmen.

β) Temperatur der Zuluft. Die Temperatur der Zuluft ergiebt sich aus den Gleichungen wie bei Fall 1:

$$t_1' = t + \frac{W(1+\alpha t)}{0{,}306\, L_1} \cdot \frac{t - t_1}{t - t_0} \quad \text{bezw.} \quad t_1' = t + \frac{W(1+\alpha t)}{0{,}306\, L_v} \cdot \frac{t - t_1}{t - t_0} \qquad (254)$$

je nachdem L_1 oder L_v nach dem unter d) Gesagtem für die Berechnung der Kanalquerschnitte angenommen werden muss, t_1 ist hierbei stets die auf L_1 bezw. L_v bezughabende äussere Temperatur.

III. Die Heizapparate einer Luftheizung.

1. Ausführung und Konstruktion der Heizapparate.

a) Feuer-Luftheizung. Ein jeder Ofen ist befähigt, als Heizapparat einer Feuer-Luftheizung zu dienen. Da indessen meist mehrere Räume gleichzeitig von einer Heizkammer erwärmt werden sollen, so müssen die Feuer-Luftheizapparate eine grössere als die gewöhnliche Form erhalten und werden daher besonders für diesen Zweck konstruirt. Die Grösse der Heizapparate ist an und für sich unbegrenzt, doch ist zu empfehlen, die Heizfläche nicht grösser als zu etwa 30 qm anzunehmen und lieber mehrere Heizapparate neben einander aufzustellen, da durch zu grosse Heizapparate bei einem jeweilig geringen Wärmebedarfe der ökonomische Betrieb beeinträchtigt wird.

Digitized by Google

Die Konstruktion der Heizapparate (in der Praxis auch „Kalorifer" genannt) ist eine sehr mannigfaltige, das Material meistens Gusseisen, selten Schmiedeeisen oder Mauerwerk. Eisen besitzt ein geringes Vermögen zur Wärmeaufspeicherung; gerade bei Luftheizung ist dasselbe aber häufig angebracht, und wäre es somit erwünscht, wenn bei Konstruktion der Luftheizapparate auf Wärmeaufspeicherung, jedoch nur in Gestalt von reichlich bemessener Schüttfeuerung, mehr Rücksicht als bisher genommen würde.

Die älteste Form der eisernen Heizapparate bestand in glatten, zu einem horizontalen oder senkrechten Bündel vereinigten gusseisernen Röhren, durch welche die Feuergase kurzer Hand hindurchgeführt wurden. Diese Apparate ergaben eine schlechte Ausnutzung des Brennmaterials, leichtes Glühen und Undichtheit in den Fugen. Zur besseren Ausnutzung des Brennmaterials wurden die Heizapparate alsdann in Form von horizontalen über einander liegenden Rohrzügen ausgebildet und, um das Glühen zu vermeiden, mit Chamotteausfütterung oder äusseren Rippen versehen.

Das Springen der Rohrzüge suchte man durch eine lose Verbindung der einzelnen Rohrzüge, das Undichtwerden durch horizontale nicht fest auf einander geschraubte, aber gehobelte Flanschen oder dadurch zu vermeiden, dass man die Verbindungsstellen der Rohrzüge in geeigneter Weise durch Sand abdeckte, der gleichzeitig eine Beweglichkeit der Rohrzüge zuliess. Derartige Apparate sind neben anderen Formen vielfach in Anwendung. Fast alle Konstruktionen zeigen das Bestreben, die Apparate aus einer Summe von Elementen zusammenzustellen, um je nach Bedarf und zur Vermeidung von Modellkosten eine grössere oder geringere Heizfläche in Anwendung bringen zu können.

Die Bedingungen für einen sachgemäss konstruirten Apparat sind, abgesehen von der Billigkeit:

> Zusammengedrängte Form; Ausbreitung der Wärme über grosse Flächen; gleichmässige Vertheilung der Wärme im Heizapparate und der abgegebenen Wärme in der Heizkammer; gutes Umspülen aller Heizflächen von der Luft; Ausdehnungsfähigkeit der einzelnen Theile; geringe Anzahl von Fugen; bequemes Beseitigen des Staubes; leichtes Reinigen von Russ und Asche — letzteres nur von ausserhalb der Heizkammer.

Die Regelung der Verbrennung erfolgt am besten durch Oeffnungen in der dicht schliessenden Aschfallthür, die durch Schieber beliebig abdeckbar sind und durch Rauchschieber, die höchstens $^9/_{10}$ des Rauchkanalquerschnittes abzuschliessen vermögen. Voll abschliessende Rauchschieber sollten ihrer Gefährlichkeit halber, gerade so wie dies bereits bezüglich der früher vielfach angewendeten Ofenklappen geschehen ist, behördlich verboten werden.

Um Unregelmässigkeiten des Betriebes soweit wie angängig aus-

Digitized by Google

zugleichen, ist die Verbindung der Apparate mit Schüttfeuerung, thunlichst auch mit einem selbstthätigen Verbrennungsregler zu empfehlen.

Jeder Apparat muss leicht zugänglich sein, die Heizkammer ist daher mit einer entsprechend grossen — und zur Vermeidung von Wärmeverlusten — eisernen Doppelthür auszustatten und müssen sich wenigstens an den 2 Längsseiten des Heizapparats genügend (etwa 1 m) breite Gänge befinden. Kann man von einer Seite zur andern nur durch unbequemes Uebersteigen des Apparates gelangen, so ist die Anordnung zweier Doppelthüren zur Heizkammer zu empfehlen.

Wünschenswerth ist die Erhellung der Heizkammer durch Tageslicht mittels eingesetzter doppelter Glasscheiben oder durch künstliche Beleuchtung. Bei Anwendung von Gas hierfür ist Sorge zu tragen, dass weder Gas noch die Verbrennungsprodukte in die Heizkammer treten können, d. h. dass das Licht nur durch ein Fenster in die Heizkammer gelangen kann. Bezüglich der sonstigen Ausführung der Heizkammer ist auf den Abschnitt „Lüftung“ S. 63 zu verweisen.

b) Wasser- bezw. Dampf-Luftheizung. Die Konstruktion der Heizapparate ist im Wesentlichen nicht abweichend von der bereits früher bei der Warmwasserheizung bezw. Dampfheizung besprochenen, nur werden dieselben ebenfalls umfangreicher und ohne Rücksicht auf das Aussehen angefertigt. Die Regelung der Wärme kann durch Drosseln bezw. Ausschalten eines Theiles der Heizfläche in zufriedenstellendem Mafse erzielt werden. Die Ausnutzung der Wärme ist eine um so grössere, je geringere Höhe die Heizkörper besitzen. Die beste Form der letzteren ist diejenige von Rohrspiralen, jedoch sind die Windungen derselben derartig anzuordnen, dass eine leichte Reinigung von Staub stattfinden kann und die Luft die Röhren gut umspülen muss. Ein grosser Vorzug der Wasser- bezw. Dampf-Luftheizung gegenüber der Feuerluftheizung besteht darin, dass man ohne besondere Schwierigkeit einem jeden Raume seine eigenen Heizkörper und durch einfache Trennung derselben durch Scheidewände seine eigene Heizkammer geben, somit unter Wegfall von Mischvorrichtungen beliebige Luftmengen mit der erforderlichen Temperatur zuführen kann.

Wasserluftheizung ist mit gewisser Vorsicht anzulegen, da die Gefahr des Einfrierens des Wassers, sofern Aussenluft an den Heizkörpern erwärmt werden muss, nahe liegt. Auch bei Dampf-Luftheizung ist ein Einfrieren der Heizkörper nicht ausgeschlossen, sofern, wie bei Niederdruck-Dampfheizung, der Dampfzutritt bezw. die Wärme-Abgabe durch Ventile geregelt wird und der Dampf nicht immer den Heizkörper erfüllt. Zweckmässig ist es alsdann, zwei Heizkörper über einander zu legen, den unteren nur so gross zu machen, dass er immer unter Volldampf gehalten werden kann, und

Digitized by Google

den oberen Heizkörper allein zur Wärmeregelung nach dem jeweiligen Wärmebedarfe zu benützen. Alsdann tritt jederzeit an den oberen Heizkörper erwärmte Luft, die ein Einfrieren des Niederschlagswassers verhindert.

2. Berechnung der Heizapparate.

a) Wärmemenge, die der Heizapparat zu liefern hat. Der Heizapparat einer Luftheizung hat sowohl die Wärmemenge, die zur Erwärmung der Luft, als diejenige, die zur Verdunstung des zur Befeuchtung der Luft erforderlichen Wassers nöthig ist, zu erzeugen. Wird ein besonderer Heizkörper für die Verdunstung des Wassers vorgesehen, so entfällt natürlich dieselbe bei Bestimmung des Heizapparats.

Die Wärmemenge, die ein Heizapparat zu liefern hat, ist somit:

$$W_H = W' + W'' \qquad (255)$$

wenn:

W' die zur Erwärmung der Luft,
W'' die zur Verdunstung des Wassers erforderliche Wärmemenge in WE bedeutet.

Die Wärmemenge zur Erwärmung der Luft W' ergiebt sich nach Gl. 239 ohne Weiteres:

$$W' = \frac{0{,}306\,\Sigma L_H}{1 + \alpha t_0}(t_H - t_0), \qquad (256)$$

sofern bezeichnet:

ΣL_H die gesamte Luftmenge von der niedrigsten Aussentemperatur, die dem Heizapparate behufs Erwärmung zuzuführen ist in cbm,
t_0 die niedrigste Aussentemperatur,
t_H die Temperatur, auf welche die Luft am Heizapparate zu erwärmen ist.

t_H ist während der Benutzung der Räume zu höchstens 35^0 bis 40^0 (s. S. 41) anzunehmen, wobei sich die untere Grenze auf Wasser- bezw. Dampf-Luftheizung, die obere auf Feuer-Luftheizung bezieht. Vor Benutzung der Räume darf bei der letzteren die Temperatur allenfalls bis auf 50^0 gesteigert werden, bei Wasser- bezw. Dampf-Luftheizung ist eine Steigerung nicht zu empfehlen, da alsdann auch die Heizkörper grösser gemacht werden müssen, die Anlage in der Herstellung also theurer wird.

Die Wärmemenge zur Verdunstung des Wassers W'' hängt ab, einestheils von der erforderlichen Wassermenge und von der Temperatur des Wassers vor der Erwärmung, anderntheils von der Temperatur, unter der die Dampfbildung stattfinden muss.

Digitized by Google

Die Wassermenge in kg berechnet sich nach der Gl. 19:

$$A = \frac{\Sigma L}{100}\left(pg - \frac{1+\alpha t_0}{1+\alpha t} p_0 g_0\right)$$

worin bedeutet:

ΣL den gesammten in den Räumen bei der niedrigsten Aussentemperatur t_0 erforderlichen Luftwechsel gegeben in cbm und t^0,

p bezw. p_0 den Procentgehalt der Innenluft bezw. der von aussen entnommenen Luft (in der Regel zu setzen: $p = 50$, $p_0 = 80$),

g bezw. g_0 die Wassermenge in kg, die in einem cbm Luft von der Temperatur t bezw. t_0 bei voller Sättigung enthalten ist (Tabelle 1).

Der Werth für A kann nach Tabelle 6 berechnet werden.
Die Wärmemenge zur Verdunstung des Wassers ist dann:

$$W'' = AQ, \qquad (257)$$

worin Q die Summe der Wärmemengen bedeutet, die zur Erwärmung von 1 kg Wasser von der Anfangstemperatur bis auf die Verdampfungstemperatur und zur Verdampfung desselben (s. Tabelle 16) erforderlich sind.

b) Grösse des Heizapparates. α) Feuer-Luftheizung. Die Temperatur der in die Räume einströmenden Luft soll, wie bereits erwähnt (s. S. 41), nicht über 40° (bezw. 50°) hinausgehen. Diese Vorschrift allein giebt noch nicht die Gewähr, dass die Staubtheilchen in der Luft vor Versengen an den Heizflächen bewahrt bleiben und somit die Luft keine Güteverminderung erfährt. Ein kleiner stark angestrengter Heizapparat kann ebenso eine gewisse Luftmenge in ihrer Gesammtheit auf die gleiche Temperatur bringen, als ein grosser geschonter Apparat. Nach Fodor soll die Temperatur der Heizfläche möglichst nicht über 100° betragen. Aus den angeführten Gründen sowie aus ökonomischen Rücksichten sollte jedem Auftragnehmer die höchste zulässige Temperatur der abziehenden Rauchgase vorgeschrieben werden. Dies würde dahin führen, dass jeder Fabrikant Versuche über die Wärme-Abgabe seiner Heizapparate anstellen müsste.

Für den Beharrungszustand sind für die Rauchgase bei niedrigster Aussentemperatur etwa 150° bis 200°, für die Anheizdauer 250° bis 300° zu gestatten.

Die Wärme-Abgabe eines Heizapparates bei Feuer-Luftheizung ist eine in weiten Grenzen schwankende, sofern der Heizapparat kräftig oder nur mässig betrieben werden muss. Um keine zu hohe Erwärmung der Luft bei normalem Betriebe herbeizuführen und ge-

Digitized by Google

schonte Apparate zu erhalten, nehme man die Wärme-Abgabe eines Quadratmeters

glatter Heizfläche zu 1500 bis höchstens 2000 *WE*
gerippter „ „ 1200 „ „ 1500 *WE* an.

β) **Wasser- und Dampf-Luftheizung.** Die Heizfläche ist wie bei einem jeden anderen Wasser- oder Dampf-Heizkörper zu berechnen, nur unter Benutzung des entsprechenden Transmissionskoefficienten. Bedeutet also:

F die Heizfläche des Heizapparates in qm,
t_m die mittlere Temperatur des im Heizkörper befindlichen Wassers bezw. Dampfes,
t_{m_0} die mittlere Temperatur der am Heizkörper erwärmten Luft,
k den Transmissionskoefficienten (der Tabelle 13 zu entnehmen), so ist zu setzen:

$$F = \frac{W_H}{k(t_m - t_{m_0})}. \qquad (258)$$

Bei Benutzung der Tabelle 13 sind die Bemerkungen auf S. 171 u. f. zu beachten, ebenso Beispiel 3 auf S. 181 für Bestimmung der Heizflächen.

IV. Beispiele für Berechnung einer Luftheizung.

Fall 1. *Der Luftwechsel in den zu erwärmenden Räumen ist nicht vorgeschrieben, derselbe hat sich nur nach dem Wärmebedarfe zu richten.*

Beispiel 1. Aufgabe. Es sollen 4 Räume mittels Feuer-Luftheizung auf $+20^0$ erwärmt werden. Bei der für die Grössenbestimmung des Heizapparates in Rechnung zu stellenden niedrigsten Aussentemperatur von -20^0 betrage die stündliche Wärmetransmission des 1. Raumes 4100, des 2. Raumes 4350, des 3. Raumes 3800, des 4. Raumes 3650 *WE*. Die Einströmungstemperatur der Luft darf auch während des Anheizens $+40^0$ nicht übersteigen. Der Besuch der Räume ist ein wechselnder; die Wärme-Abgabe der die Räume benutzenden Personen bleibt somit ausser Berücksichtigung. Die Luft in den Räumen soll bei -20^0 Aussentemperatur auf 50 % gesättigt sein. Die Wärmeverluste der Kanäle können unberücksichtigt bleiben. Ein jeder Raum hat einen Kubikinhalt von 168 cbm.

Lösung der Aufgabe. **a) Erforderlicher Luftwechsel zur Erwärmung der Räume.** Bei der niedrigsten Aussentemperatur von -20^0 darf die Temperatur der in die Räume strömenden Luft $+40^0$ nicht überschreiten. Der Luftwechsel beträgt daher (nach Gl. 239) ausgedrückt in einer Temperatur von 20^0 für den

1. Raum $L = \frac{4100(1 + \alpha \cdot 20)}{0{,}306(40 - 20)} = 719$ cbm,
2. „ $L = \frac{4350(1 + \alpha \cdot 20)}{0{,}306(40 - 20)} = 763$ „ ,
3. „ $L = \frac{3800(1 + \alpha \cdot 20)}{0{,}306(40 - 20)} = 666$ „ ,
4. „ $L = \frac{3650(1 + \alpha \cdot 20)}{0{,}306(40 - 20)} = 640$ „ .

Digitized by Google

Für den 2. Raum, der den grössten Wärmebedarf zeigt, ist ein $\frac{763}{168} \sim 4{,}5$ facher, also einhaltbarer Luftwechsel erforderlich. (Würde der Luftwechsel nicht einhaltbar sich ergeben haben, so hätte die Einströmungstemperatur höher angenommen werden müssen.)

Der Luftwechsel sämmtlicher Räume beträgt daher

$$\Sigma L = 2788 \text{ cbm von } 20°.$$

b) und c) Luftmenge, die bei der niedrigsten Aussentemperatur von $-20°$ von aussen zu entnehmen und am Heizapparate auf $40°$ zu erwärmen ist. Diese Luftmenge ist gemäss Gl. 241:

$$\Sigma L_0 = \frac{2788\,(1 - \alpha\,20)}{1 + \alpha\,20} = 2406 \text{ cbm}.$$

d) Luftmenge, die der Berechnung der Kanalquerschnitte zu Grunde zu legen ist. Da ein bestimmter Luftwechsel nicht gefordert wird, derselbe sich also nur nach dem Wärmebedarfe zu richten hat, für Berechnung der Kanalquerschnitte aber die höchste Aussentemperatur, bei der noch der Heizbetrieb stattfinden wird, sowie der bei derselben erforderliche Luftwechsel L_1 zu Grunde zu legen ist, so muss L_1 zunächst bestimmt werden. Hierfür dient die nach der früher angegebenen Berechnung gemachte Aufstellung auf S. 357.

Nimmt man an, dass der Heizbetrieb bis zu einer Aussentemperatur von $+10°$ erforderlich wird, so beträgt für diese, sowie für eine Raumtemperatur von $+20°$ und eine Einströmungstemperatur der Luft von $+40°$ bei $-20°$ Aussentemperatur in der Aufstellung: $\frac{L_1}{L} = 0{,}538$.

Es ergiebt sich daher für den:

1. Raum $L_1 = 0{,}538 \cdot 719 = 387$ cbm,
2. „ $L_1 = 0{,}538 \cdot 763 = 411$ „ ,
3. „ $L_1 = 0{,}538 \cdot 666 = 358$ „ ,
4. „ $L_1 = 0{,}538 \cdot 640 = 344$ „ .

Der Luftwechsel bei $+10°$ Aussentemperatur hat also im Ganzen 1500 cbm zu betragen.

e) Temperaturen, die der Berechnung der Kanalquerschnitte zu Grunde zu legen sind. α) Aussentemperatur. Die höchste Aussentemperatur, d. h. diejenige für Berechnung der Kanalquerschnitte, war bereits zur Bestimmung von L_1 zu $+10°$ angenommen worden.

β) Temperatur der Zuluft. Die Temperatur der Zuluft ist für alle Räume die gleiche, daher ist im Ausdrucke 247 für $W = 15900$, $L_1 = 1500$, ferner $t = 20$, $t_1 = 10$, $t_0 = -20$ zu setzen, und ergiebt sich dann:

$$t_1' = 20 + \frac{15900\,(1 + \alpha\,20)}{0{,}306 \cdot 1500} \cdot \frac{20 - 10}{20 - (-20)} = 29{,}29 \sim 30°.$$

f) Wärmemenge, die der Heizapparat zu liefern hat. Da eine Abkühlung der Luft in den Kanälen nicht zu berücksichtigen ist, so ist die Temperatur, auf welche die von aussen entnommene Luft am Heizapparate erwärmt werden muss, gleich der Temperatur der in die Räume strömenden Luft, d. h. also $t_H = t'$. Die Wärmemenge zur Erwärmung der Luft bei der niedrigsten Aussentemperatur berechnet sich somit nach Gl. 256 zu:

$$W' = \frac{0{,}306 \cdot 2406}{1 - \alpha\,20}\,(40 - (-20)) = 47664\ WE.$$

Für die Wärmemenge zur Verdunstung des Wassers werde die Sättigung der

Digitized by Google

äusseren Luft bei $-20°$ zu 80 % angenommen, ausserdem der Bedingung gemäss $p = 50$ gesetzt. Alsdann ist die stündlich in Dampfform der Luft beizufügende Wassermenge, da der Luftwechsel in sämmtlichen Räumen bei $-20°$: 2788 cbm von $20°$ zu betragen hat, nach Gl. 19 und Tab. 1:

$$A = \frac{2788}{100}\left(50 \cdot 0{,}0172 - 80 \cdot 0{,}0011 \frac{1 + \alpha 20}{1 + \alpha 20}\right) = 21{,}86 \text{ kg}.$$

Derselbe Werth ist einfacher mit Hilfe der Tabelle 6 zu bestimmen. Für 1000 cbm $20°$ warmer von aussen mit $-20°$ entnommener Luft beträgt bei $p = 50$, $p_0 = 80$ die zuzuführende Wassermenge 7,841 kg, somit ist:

$$A = \frac{2788}{1000} \cdot 7{,}841 = 21{,}86 \text{ kg}.$$

Nimmt man zu Zwecken der Verdampfung Wasserleitungswasser an, das eine Temperatur von $10°$ besitzt, so müssen 21,86 kg von $10°$ auf $40°$ erwärmt und in Dampf von $40°$ übergeführt werden. Dazu sind (nach Tabelle 16) rund 610 *WE* für 1 kg erforderlich, also ist nach Gl. 257:

$$W'' = 21{,}86 \cdot 610 = 13335 \, WE,$$

somit die Wärmemenge, die der Heizapparat zu liefern hat:

$$W_H = 47664 + 13335 \sim 61000 \, WE.$$

g) **Grösse des Heizapparates.** Es ist zu setzen bei

$$\text{glatter Heizfläche: } F = \frac{61000}{1500} \sim 40 \text{ qm},$$

$$\text{gerippter „ : } F = \frac{61000}{1200} \sim 50 \text{ qm}.$$

Beispiel 2. Aufgabe. Die Aufgabe bleibt die im vorigen Beispiele gegebene, nur sollen in jedem Raume sich stets mindestens 10 Personen aufhalten, deren Wärme-Abgabe von der Transmission der Räume abgezogen werden soll. Dafür darf die Einströmungstemperatur vor Benutzung der Räume $50°$ betragen.

Lösung der Aufgabe. 10 Personen geben $10 \times 100 = 1000 \, WE$ stündlich bei $+20°$ umgebender Luft ab; die Wirkung der Transmission verringert sich daher bei jedem Raume um 1000 *WE*. Vor Benutzung der Räume (Anheizdauer) darf die Einströmungstemperatur zu $50°$ angenommen werden, somit beträgt der stündliche Luftwechsel für den I. Raum vor Benutzung:

$$\frac{4100 \, (1 + \alpha \cdot 20)}{0{,}306 \, (50 - 20)} = 479 \text{ cbm},$$

bei Benutzung:

$$\frac{(4100 - 1000)(1 + \alpha \cdot 20)}{0{,}306 \, (40 - 20)} = 543 \text{ cbm}.$$

Der grössere Luftwechsel findet in diesem Falle somit bei Benutzung der Räume statt, also ist dieser für die weitere Berechnung anzunehmen.

Die fernere Rechnung bleibt die gleiche wie im vorigen Beispiele.

Fall 2. *Der Luftwechsel in den zu erwärmenden Räumen ist vorgeschrieben.*

Beispiel 3. Aufgabe. Es sind wie im 1. Beispiele 4 Räume mit Feuer-Luftheizung auf $+20°$ bei einer Aussentemperatur von $-20°$ zu erwärmen. Der

Digitized by Google

vorgeschriebene Luftwechsel soll bei einer höchsten Aussentemperatur von 0° erreicht werden. Die Einströmungstemperatur darf bei Benutzung der Räume 40° nicht übersteigen, infolgedessen ist der vorgeschriebene Luftwechsel, falls derselbe zur Erwärmung der Räume bei — 20° nicht ausreicht, grösser anzunehmen. Die Anzahl der Anwesenden ist eine wechselnde und die Wärme-Abgabe derselben daher unberücksichtigt zu lassen. Die Kanäle sind vor Wärmeverlusten als geschützt anzusehen. Der Wärme- und Lüftungsbedarf geht aus nachstehender Aufstellung hervor. Es bedarf der

1. Raum	an Wärme:	4100	*WE*,	an Luftwechsel:		1000	cbm	von	20°,
2. „	„ „	4350	„ ,	„	„	700	„	„	20°,
3. „	„ „	3800	„ ,	„	„	800	„	„	20°,
4. „	„ „	3650	„ ,	„	„	700	„	„	20°,
	Summa:	15900	*WE*,		Summa:	3200	cbm	von	20°.

Lösung der Aufgabe. **a) Bestimmung der Einströmungstemperatur der Zuluft für den grössten Wärmebedarf unter Annahme des vorgeschriebenen Luftwechsels, bezw. Feststellung des erforderlichen Luftwechsels bei der niedrigsten Aussentemperatur.** Bei dem vorgeschriebenen Luftwechsel muss nach Gl. 248 die Einströmungstemperatur bei der niedrigsten Aussentemperatur (— 20°) sein für den

$$1.\ \text{Raum}: t' = 20 + \frac{4100\,(1 + \alpha 20)}{0{,}306 \cdot 1000} = 34{,}4°,$$

$$2.\ \text{„}: t' = 20 + \frac{4350\,(1 + \alpha 20)}{0{,}306 \cdot 700} = 41{,}8°,$$

$$3.\ \text{„}: t' = 20 + \frac{3800\,(1 + \alpha 20)}{0{,}306 \cdot 800} = 36{,}6°,$$

$$4.\ \text{„}: t' = 20 + \frac{3650\,(1 + \alpha 20)}{0{,}306 \cdot 700} = 38{,}3°.$$

Da für den 2. Raum t' grösser als die höchste zulässige Temperatur (40°) ist, so muss für diesen der Luftwechsel grösser als gefordert und zwar zu:

$$L_v = \frac{4350\,(1 + \alpha 20)}{0{,}306\,(40 - 20)} = 763 \text{ cbm}$$

angenommen werden. Auf die Temperatur von 40° muss somit auch die gesammte von aussen entnommene Luft am Heizapparate erwärmt werden und dem 1., 3. und 4. Raume zu der warmen Luft ungewärmte Luft beigemischt werden.

b) Luftmenge, die bei der niedrigsten Aussentemperatur (— 20°) von aussen zu entnehmen ist. Dieselbe stellt sich nach Gl. 250 bezw. 251 für den

$$1.\ \text{Raum}: L_0 = \frac{1000\,(1 - \alpha 20)}{1 + \alpha 20} = 863 \text{ cbm von } -20°,$$

$$2.\ \text{„}: L_0 = \frac{763\,(1 - \alpha 20)}{1 + \alpha 20} = 658 \text{ „ „ } -20°,$$

$$3.\ \text{„}: L_0 = \frac{800\,(1 - \alpha 20)}{1 + \alpha 20} = 690 \text{ „ „ } -20°,$$

$$4.\ \text{„}: L_0 = \frac{700\,(1 - \alpha 20)}{1 + \alpha 20} = 604 \text{ „ „ } -20°,$$

im Ganzen also: $\Sigma L_0 = 2815$ cbm von $-20°$.

c) Luftmenge von — 20°, die am Heizapparate auf + 40° zu erwärmen ist. Dieselbe ist nach Gl. 253 für den

Digitized by Google

1. Raum: $L_H = 863 \frac{34{,}4 - (-20)}{40 - (-20)} = 783$ cbm von $-20°$,

2. „ : $L_H = 658 \frac{40 + 20}{40 + 20} = 658$ „ „ $-20°$,

3. „ : $L_H = 690 - \frac{36{,}6 + 20}{40 + 20} = 651$ „ „ $-20°$,

4. „ : $L_H = 604 - \frac{38{,}3 + 20}{40 + 20} = 587$ „ „ $-20°$.

Im Ganzen sind also am Heizapparate 2679 cbm von $-20°$ zu erwärmen.

d) Luftmenge, die der Berechnung der Kanalquerschnitte zu Grunde zu legen ist. Der vorgeschriebene Luftwechsel soll bis zu einer höchsten Aussentemperatur von $0°$ erzielt werden, im Ganzen sind $\Sigma L_v = 3200$ cbm gefordert; bei $-20°$ aber sind zur Erwärmung nöthig:

$$L = \frac{15\,900\,(1 + \alpha 20)}{0{,}306\,(40 - 20)} = 2788 \text{ cbm.}$$

Lediglich zur Erwärmung der Räume bei $0°$ würde ein Luftwechsel von L_1 cbm ausreichen, die Grösse von L_1 berechnet sich nach der Aufstellung auf S. 357 aus dem Verhältnisse von $\frac{L_1}{L}$, das für eine Raumtemperatur von $+20°$ und eine höchste zulässige Einströmungstemperatur von $+40°$ sich zu 0,725 ergiebt. Es ist also:

$$L_1 = 0{,}725 \cdot 2788 \sim 2021 \text{ cbm.}$$

Da diese Luftmenge kleiner als die vorgeschriebene von 3200 cbm ist, so muss letztere für die Berechnung der Kanalquerschnitte angenommen werden.

e) Temperaturen, die der Berechnung der Kanalquerschnitte zu Grunde zu legen sind. α) Aussentemperatur. Da nach d) der vorgeschriebene Luftwechsel zu Grunde gelegt werden muss, so ist somit die für ihn geltende höchste Temperatur, d. h. $0°$, anzunehmen.

β) Temperatur der Zuluft. Die Temperatur der Zuluft berechnet sich mit Hilfe der Gl. 254, in die, da der geforderte Luftwechsel L_v bis zur höchsten Temperatur von $0°$ erreicht werden soll, $t_1 = 0$ zu setzen, ferner da $t = 20$, $t_0 = -20$ ist, für den

1. Raum: $t_1' = 20 + \frac{4100\,(1 + \alpha 20)}{0{,}306 \cdot 1000} \cdot \frac{20 - 0}{20 - (-20)} = 27{,}2°$,

2. „ : $t_1' = 20 + \frac{4350\,(1 + \alpha 20)}{0{,}306 \cdot 700} \cdot \frac{20 - 0}{20 - (-20)} = 30{,}9°$,

3. „ : $t_1' = 20 + \frac{3800\,(1 + \alpha 20)}{0{,}306 \cdot 800} \cdot \frac{20 - 0}{20 - (-20)} = 28{,}3°$,

4. „ : $t_1' = 20 + \frac{3650\,(1 + \alpha 20)}{0{,}306 \cdot 700} \cdot \frac{20 - 0}{20 - (-20)} = 29{,}1°$.

f) Wärmemenge, die der Heizapparat zu liefern hat. Da eine Abkühlung in den Kanälen nicht zu berücksichtigen ist und die höchste Temperatur der Zuluft (für Raum 2) $40°$ beträgt, so muss auf diese die gesammte am Heizapparate zu erwärmende Luft von $-20°$ gebracht werden. Letztere betrug $\Sigma L_H = 2679$ cbm und somit ist die Wärmemenge zur Erwärmung der Luft am Heizapparate nach Gl. 256:

$$W' = \frac{0{,}306 \cdot 2679}{1 - \alpha 20} \Big(40 - (-20)\Big) = 53\,072\ WE.$$

Digitized by Google

Die Wassermenge, die der Luft behufs Befeuchtung beizugeben ist, beträgt, da sich der gesammte Luftwechsel in den Räumen bei — 20° Aussentemperatur zu 2787 cbm stellt und da $p_0 = 80$, $p = 50$, $t = 20$ zu setzen ist, nach Gl. 9 oder einfacher nach Tabelle 6:

$$A = \frac{2788}{1000} \cdot 7{,}841 = 21{,}86 \text{ kg}$$

und somit, wenn Wasserleitungswasser von 10° zum Zwecke der Befeuchtung verwendet wird, das auf 40° zu erwärmen und in Dampfform überzuführen ist (siehe Beispiel 1), die Wärmemenge zur Verdunstung des Wassers:

$$W'' = 21{,}85 \cdot 610 = 13335 \; WE.$$

Die Wärmemenge, die der Heizapparat zu liefern hat, stellt sich also:

$$W_H = 53072 + 13335 = 66407 \; WE.$$

g) Grösse des Heizapparates. Es ist zu setzen bei

$$\text{glatter Heizfläche: } F = \frac{66407}{1500} \sim 45 \text{ qm},$$

$$\text{gerippter „ : } F = \frac{66407}{1200} \sim 56 \text{ qm}.$$

In diesem Beispiele blieb die Wärme-Abgabe der Personen in den Räumen unberücksichtigt. Sofern die Anzahl der Personen eine gleichbleibende ist (Schulen u. s. w.), kann dieselbe von der Transmission in Abzug gebracht und vor der Benutzung der Räume eine höhere Einströmungstemperatur der Luft (50°) in Ansatz gebracht werden. Die Rechnung ist dann in gleicher Weise wie in Beispiel 2 anzustellen, im Uebrigen ändert sich in der weiteren Behandlung des Beispiels nichts.

Beispiel 4. Aufgabe. Die Aufgabe ist dieselbe wie in Beispiel 1, nur soll im Keller die Luft durch Einzelröhren von Eisenblech mittels eines Ventilators nach den aufsteigenden gemauerten Zuluftkanälen geführt werden. Die Temperatur des Kellers ist zu + 10° anzunehmen, die Geschwindigkeit der Luft in den Kanälen bei der niedrigsten Aussentemperatur zu 10 m. Die Länge des Rohrkanals für Raum 1 und 3 beträgt je 20 m, für Raum 2 und 4 je 12 m.

Lösung der Aufgabe. **a) Erforderlicher Luftwechsel zur Erwärmung der Räume.** Wie in Beispiel 1 (s. S. 365) muss erhalten der

1. Raum:	719 cbm	von	40°	= 811 kg,
2. „ :	763 „	„	40°	= 861 „,
3. „ :	666 „	„	40°	= 751 „,
4. „ :	640 „	„	40°	= 722 „.

b) Temperaturen, mit denen die Luft in die eisernen Rohrkanäle eintreten muss. In den eisernen Rohrkanälen soll bei der niedrigsten Aussentemperatur eine Geschwindigkeit von 10 m herrschen; naturgemäss muss die ganze Anlage sowie der Ventilator hierfür Berechnung gefunden haben, für die auf den Abschnitt „Lüftung" zu verweisen ist. Unter der Annahme, dass die Rohrkanäle einen runden Querschnitt erhalten sollen, berechnet sich der lichte Durchmesser des Rohrkanals für den

$$\text{1. Raum zu: } d = \sqrt{\frac{719 \cdot 4}{10 \cdot 3600 \cdot 3{,}14}} = 0{,}159 \text{ m},$$

$$\text{2. „ „: } d = \sqrt{\frac{763 \cdot 4}{10 \cdot 3600 \cdot 3{,}14}} = 0{,}164 \text{ „},$$

Digitized by Google

3. Raum zu: $d = \sqrt{\frac{666 \cdot 4}{10 \cdot 3600 \cdot 3{,}14}} = 0{,}154$ m,

4. „ „: $d = \sqrt{\frac{640 \cdot 4}{10 \cdot 3600 \cdot 3{,}14}} = 0{,}151$ „.

Erhalten die Rohrwandungen eine Stärke von 1 mm, so stellt sich die für die Abkühlung der Luft in Frage kommende Oberfläche $f = (d + 0{,}002)\,\pi l$ der Rohrkanäle für den

1. Raum zu: $f = 10{,}11$ qm,
2. „ „: $f = 6{,}26$ „,
3. „ „: $f = 9{,}80$ „,
4. „ „: $f = 5{,}77$ „.

Die mittlere Temperatur der Luft in den eisernen Kanälen muss nun für Annahme des Transmissionskoefficienten k zunächst geschätzt werden. Die Temperatur der Luft soll bei Eintritt in die aufsteigenden gemauerten Kanäle 40° betragen, nimmt man also in den Kanälen, wenn dieselben vor Wärme-Abgabe nicht geschützt sind, eine Abkühlung um 10°, wenn sie vor Wärme-Abgabe geschützt sind, eine solche um 2° an, so hat man $\frac{40 + 50}{2} - 10 = 35°$ bezw. $\frac{40 + 42}{2} - 10 = 31°$ für die Wahl des Transmissionskoefficienten nach Tabelle 13, IV in Ansatz zu bringen, also für eine Luftgeschwindigkeit von 10 m den Werth $k = 5{,}8$ bezw. 5,7 für nicht bekleidetes Rohr zu wählen. Nach den Mittheilungen auf S. 184 ist somit bei guter Umhüllung statt 5,7 nur etwa $\frac{5{,}7}{5} = 1{,}16$ zu setzen. Es ergiebt sich daher nach Gl. 238b für den

1. Raum (Rohrkanäle nicht umhüllt): $t_1 = 51°$, (Rohrkanäle gut umhüllt): $t_1 = 42°$,
2. „ „ „ „ : $t_1 = 46°$, „ „ „ : $t_1 = 41°$,
3. „ „ „ „ : $t_1 = 51°$, „ „ „ : $t_1 = 42°$
4. „ „ „ „ : $t_1 = 46°$, „ „ „ : $t_1 = 41°$.

Die Temperaturschätzung für den Transmissionskoefficienten war somit eine richtige.

Bei nicht umhüllten Rohrkanälen ist also die Luft am Heizapparate auf 51° zu erwärmen, bei gut umhüllten Rohrkanälen auf 42° und für einzelne Räume der Luft ungewärmte Luft zuzumischen. Raum 4 z. B. hat zu erhalten 722 kg Luft, dieselbe soll mit 44° in den nicht umhüllten Rohrkanal eintreten, folglich muss die Mischluft von — 20°, die beizumengen ist, mit Hilfe der Gl. 6:

$$722 \cdot 46 = (722 - x)\,51 + x\,(-20)$$

berechnet werden. Es ergiebt sich alsdann die beizumengende Mischluft zu:

$$x = 50{,}9 \text{ kg} = 36{,}3 \text{ cbm von } -20°.$$

Digitized by Google

Siebenzehntes Kapitel.

Kühlung der Räume.

Die Kühlung geschlossener Räume ist im Prinzipe als eine negative Heizung aufzufassen. Die Heizung von Räumen bezweckt, Wärmeverluste zu decken, die Kühlung, Wärme-Ueberschüsse auszugleichen. Die Wärme-Ueberschüsse werden, abgesehen von besonderen Vorgängen, im Wesentlichen hervorgerufen durch Wärme-Ueberführung (Transmission) der Umschliessungskörper des Raumes von aussen nach innen und durch die Wärme-Erzeugung der Menschen und der Beleuchtung.

Im Winter ist für Bestimmung des Wärmeverlustes der Räume die niedrigste, im Sommer für Bestimmung des Wärmegewinns der Räume die höchste Aussentemperatur massgebend. Dieselbe ist verschieden je nach der geographischen Lage.

In Berlin betrug die höchste Temperatur in den Jahren 1892 und 1897 35° C. im Schatten. Die unmittelbare Sonnenerwärmung kann bei der Heizung, da sie eine Unterstützung derselben darstellt, unberücksichtigt bleiben, bei der Kühlung muss sie in Rechnung gezogen werden. Es ist daher für nach der Sonnenseite gelegene Räume eine höhere Aussentemperatur (etwa bis $+40^{0}$ C.) anzunehmen.

Bezüglich der Wärme-Erzeugung durch die Menschen und die Beleuchtung ist das früher im Abschnitte „Lüftung“ Gesagte (s. S. 9) massgebend.

Bei der Erwärmung dehnt sich die Luft aus und wird relativ trockener, bei der Kühlung verdichtet sie sich und wird relativ feuchter. Bei Unterschreitung der Thaupunktstemperatur scheidet sich Wasser aus, die Luft ist alsdann gesättigt, wenn auch absolut trockener.

Sofern die Kühlung der Räume unmittelbar durch aufgestellte Kühlkörper stattfindet, wird die relative Feuchtigkeit in den Räumen zunehmen, falls die Kühlkörper nicht eine so niedrige Temperatur besitzen, dass sich an denselben die entsprechende Dampfmenge niederschlägt oder falls nicht eine genügende Menge entsprechend trockener Luft den Räumen zugeführt wird. Da das Ueberschreiten eines gewissen Maſses von Feuchtigkeit in einem Raume die Annehmlichkeit des Aufenthalts vermindert, ferner Kühlkörper von sehr niedriger Temperatur wohl in Gährkellern u. s. w., nicht aber in bewohnten Räumen ohne Eintreten verschiedener Unzuträglichkeiten aufgestellt werden können und im Sommer die äussere Luft meist viel Feuchtigkeit enthält, so ist es fast stets, und zumal wenn in einem

Digitized by Google

Raume sich eine grosse Anzahl Menschen befindet, erforderlich, die Räume durch Einführung niedrig temperirter und entsprechend trockener Luft zu kühlen. Da die Luft durch Kühlung in ihrem relativen Feuchtigkeitsgehalte zunimmt, ist es alsdann nöthig, zunächst behufs Ausscheidung von Wasser die Luft an niedrig temperirten Kühlflächen vorüberzuführen und sie alsdann mit ungekühlter Luft zu mischen, oftmals auch zur Vermeidung der Einführung in die Räume mit zu niedriger Temperatur an einem Heizapparate wieder zu erwärmen. Bei Kühlung der Räume in Verbindung mit Lüftungsanlagen kann die Forderung eines nicht zu hohen Feuchtigkeitsgehalts erfüllt werden und da eher eine etwas hohe Temperatur als sehr feuchte Luft ertragen wird, ist es stets zu empfehlen, den zulässigen höchsten Feuchtigkeitsgehalt in den Räumen vorzuschreiben. Um die Betriebskosten einer Kühlanlage möglichst zu vermindern, sollte vor Benutzung der Räume nicht unter Ableitung der Abluft ins Freie, sondern unter wiederholter Führung nach den Kühlkörpern, also mittels Umlaufs, gekühlt werden. Es ist dies für Kostenersparnisse wichtiger, als die Anwendung von Umlauf für Erwärmung von Räumen, da bei Kühlung nicht nur von den Kühlflächen die Wärme aufgenommen werden muss, die zur Abkühlung der Luft erforderlich ist, sondern auch diejenige, die beim Niederschlagen des Wassers aus der gekühlten Luft frei wird.

Die Temperatur zu kühlender Räume wird — sofern nur für Personen ein angenehmer Aufenthalt geschaffen werden soll — zu etwa 22° bis 23° anzunehmen sein; geringere Temperaturen werden im Sommer nicht leicht ertragen.

Die Temperatur der in die Räume einzuführenden Luft darf selten niedriger als zu 17° bis 18° gewählt werden, da sonst leicht Zugbelästigungen eintreten werden; auch bei diesen Temperaturen ist noch für vorsichtige Anordnung der Einströmung und schnelle Vertheilung der Luft im Raume Sorge zu treffen.

I. Kühlmittel.

1. Wände.

Die Aussenwände der Gebäude sind bei der höchsten Aussentemperatur an und für sich wärmer als die Innenluft. Werden die Wände eines Raumes auf irgend eine Weise abgekühlt, so sind sie alsdann als Kühlkörper anzusehen. Eine derartige Abkühlung kann nur in unbenutztem Zustande der Räume erfolgen, da die einströmende Luft eine niedrigere Temperatur als bei Benutzung der Räume besitzen muss. Bei den meisten Kühlanlagen macht es sich nöthig, die Wände in der besprochenen Weise als Kühlkörper mit zu benutzen, mithin vor Benutzung der Räume diesen, besonders

Digitized by Google

während der Nacht, kühle Lüft zuzuführen. Doch ist hierbei zu beachten, dass die Kühlung der Wand-Oberflächen nicht derartig erfolgen darf, dass sich an denselben Wasser aus der Luft des Raumes niederschlagen kann. Es ist daher rathsam, eine möglichst tiefe Schicht der Wände mässig, anstatt eine kleine Schicht sehr kräftig abzukühlen, d. h. also der den Räumen in unbenutztem Zustande zuzuführenden Luft eine nicht zu niedrige Temperatur zu geben, dafür aber die Zeit der Wandkühlung möglichst auszudehnen.

2. Unterirdische Kanäle.

In einer gewissen Tiefe besitzt die oberste Erdschicht eine nahezu gleichmässige Temperatur und es ist versucht worden, durch Einlegung von Kanälen in die Erde eine Kühlung der Luft herbeizuführen. Der Effekt vermindert sich indessen bei diesen Einrichtungen sehr bald, besonders wenn die Erde trocken ist und sie daher nur geringe Leitungsfähigkeit besitzt. Auch wenn die Röhren in das Grundwasser gelegt werden, ist die Wirkung den Anlagekosten nicht entsprechend.

3. Flüssigkeiten.

a) Unmittelbare Berührung mit der Luft. α) Berieselung von Flächen. Sofern derartige Anlagen angewendet werden, soll die Kühlung nicht allein durch die Berührung der Luft mit der Wasserfläche und Verdunstung des Wassers, sondern nach Einstellung der Berieselung durch die infolge der Berührung mit dem Wasser abgekühlten Wände hervorgerufen werden. Die Wirkung derartiger Anlagen ist keine bedeutende.

β) Wasserstrahlen oder Wasserschleier. Bereits bei der vorbesprochenen Art der Kühlung, noch mehr aber bei der hier in Frage stehenden, findet die Kühlung der Luft einestheils durch Berührung mit dem Wasser, anderntheils durch die Verdunstung von Wasser statt. Der Nachtheil dieser Kühlung besteht in der Sättigung der Luft mit Wasser und daher in der Nothwendigkeit, die Luft nachträglich wieder zu trocknen, falls das Kühlwasser nicht eine entsprechend niedrige Temperatur hat. Es finden aus diesem Grunde und ausserdem infolge hoher Betriebskosten derartige Anlagen, lediglich für Kühlung der Räume, selten Anwendung.

γ) Wasser in gefrorenem Zustande (Eis). Ein kg schmelzendes Eis vermag 79 *WE* zu binden, 1 cbm Eis wiegt etwa 800 kg. Da, wo Eis billig zu haben ist, kann dieses Mittel für einzelne Räume, besonders bei seltener Benutzung derselben, Verwendung finden. Am besten ist es dann, das Eis über dem betreffenden Raume in einer Kühlkammer aufzustellen und die Luft von oben in den Raum eintreten zu lassen.

Digitized by Google

b) Mittelbare Berührung mit der Luft (Anwendung von Kühlkörpern). Zum unmittelbaren Kühlen der Kühlkörper und mittelbaren Kühlen der Luft kann verwendet werden:

α) Wasserleitungswasser. Dasselbe findet in der Praxis wegen seines Preises und seiner verhältnissmässig hohen Temperatur keine Verwendung. Die Wirkung der Kühlung ist eine geringe.

β) Brunnenwasser. Dasselbe setzt zum Heben maschinellen Betrieb voraus, erfordert aber ebenso wie das Wasserleitungswasser grosse Kühlkörper, die nur selten angewendet werden können.

γ) Wasser, durch Eis oder durch besondere Vorrichtungen gekühlt. Die Anwendung von Eis zur Kühlung für ganze Gebäude ist meist zu theuer.

Bei unmittelbarer Kühlung durch Eis (a, γ) ist mit derselben die in Frage stehende mittelbare Kühlung zweckentsprechend zu verbinden, indem das Schmelzwasser durch Röhren geleitet wird, und so zur Abkühlung der Luft Verwendung finden kann.

Hauptsächlich werden in der Praxis besondere Kältemaschinen zur Kühlung des Wassers angewendet, und um die Temperatur des Wassers möglichst niedrig bemessen zu können, wird demselben ein für diesen Zweck geeignetes Salz zugefügt. Die in Anwendung befindlichen Kältemaschinen sind meistens sogenannte Verdunstungsmaschinen. Dieselben beruhen auf Bildung von Dämpfen einer geeigneten Flüssigkeit unter Druckverminderung.

Bei diesem Vorgange wird die Wärme gebunden und sofern die Flüssigkeit in einem von Wasser umgebenen Gefässe sich befindet, dem Wasser mithin Wärme entzogen.

Die Erniedrigung der Temperatur ist um so grösser, je grösser die Druckverminderung und je niedriger der Siedepunkt der betreffenden Flüssigkeit ist.

4. Verdichtung und Abkühlung der Luft vor Einführung in die Räume.

Sofern Luft durch Druck verdichtet und alsdann abgekühlt wird, erniedrigt sich bei der Druckentlastung, d. h. beim freien Austritte der Luft ihre Temperatur.

Diese Art der Luftkühlung ist für den in Frage stehenden Zweck infolge des hohen Preises der erforderlichen Maschinen in der Praxis kaum in Anwendung. Bei der weiteren Verbreitung der Druckluftanlagen gewinnt jedoch diese Art der Kühlung von Räumen im Sommer grosse Bedeutung.

II. Ausführung der Kühlflächen.

Das Material der Kühlflächen soll ein derartiges sein, dass es vom Niederschlagswasser nicht angegriffen wird. Da jedoch Eisen dem Rosten unterliegt, werden die eisernen Kühlflächen am besten

Digitized by Google

mit einem widerstandsfähigen Ueberzuge versehen. Man verwendet daher in der Praxis die sogenannten inoxydirten Röhren (schmiedeeiserne Röhren, durch und um welche in glühendem Zustande Wasserdampf geleitet worden ist) — in diesem Falle lassen sich die Kühlflächen im Winter auch als Heizflächen benutzen — oder emaillirte Heizkörper oder gewöhnliche Heizkörper mit einem Anstriche, z. B. von Theer, der aber unter Anwärmung der Röhren auf diese gebracht werden muss.

III. Berechnung einer Kühlungsanlage.

Aus bereits mitgetheilten Gründen sollen hier nur diejenigen Anlagen behandelt werden, deren Wirksamkeit auf Einführung kühler Luft in die betreffenden Räume beruht.

Da die niedrigste Temperatur der Kühlluft nicht beliebig angenommen werden kann, der stündliche Luftwechsel aber möglichst das Fünffache des Rauminhalts unter-, keinesfalls aber überschreiten soll, ist es nur selten möglich, die stündlich zu beseitigende Wärmemenge während der Benutzung der Räume lediglich durch den Luftwechsel bewirken zu können. In allen diesen Fällen ist die Zuhilfenahme der Wände als Kühlkörper, mithin die Kühlung der Wände vor Benutzung der Räume durch die Anlage erforderlich. Es ist bereits erwähnt worden, dass aus ökonomischen Gründen diese Kühlung durch Umlauf der Luft bewirkt wird, und ist somit die Berechnung der Grössenverhältnisse in doppelter Beziehung, d. h. für die Zeit während und vor Benutzung der Räume anzustellen.

A) Bestimmung der Grössenverhältnisse für die Zeit während der Benutzung der Räume.

Bei der Berechnung sollen im Folgenden die Luftmengen der Einfachheit halber meist in kg statt in cbm angenommen werden. Die Umrechnung von kg in cbm erfolgt stets nach Gl. 4.

1. Bestimmung der Temperaturen im Raume während der Benutzung.

Die Temperatur in Kopfhöhe t_0 ist jederzeit vorgeschrieben, die Temperatur unter der Decke ist gemäss Gl. 21b zu setzen:

$$t_0' = t_0 + 0{,}03\, t_0\, (h - 3),$$

die mittlere Temperatur im Raume beträgt $\frac{t_0 + t_0'}{2}$.

2. Bestimmung der Wärmemenge, die stündlich im Beharrungszustande beseitigt werden soll.

Die Wärmemenge zerfällt in:

a) Die stündlich durch Transmission von aussen nach innen bei

Digitized by Google

einem Temperaturunterschiede von $t - t_0$ übergeführte Wärmemenge W_1, sofern t die äussere, t_0 die innere Temperatur bezeichnet.

Die Berechnung derselben erfolgt nach Früherem (s. S. 153 und folgende).

b) Die stündlich durch die Menschen und Beleuchtung abgegebene Wärmemenge; dieselbe werde mit W_2 bezw. W_3 bezeichnet und ist nach den Angaben auf S. 9 und 10 zu berechnen.

Die gesammte stündlich zu beseitigende Wärmemenge ist mithin:

$$W = W_1 + W_2 + W_3. \qquad (259)$$

3. Bestimmung des erforderlichen geringsten Luftwechsels im Raume.

Derselbe ist:

$$\left.\begin{aligned} G_0 &= \frac{W}{0{,}237\left(\frac{t_0 + t_0'}{2} - t'\right)} \text{ kg} \\ \text{oder} \\ L_0 &= \frac{W(1 + \alpha t_0)}{0{,}306\left(\frac{t_0 + t_0'}{2} - t'\right)} \text{ cbm,} \end{aligned}\right\} \qquad (260)$$

wenn t' die Temperatur der einströmenden Luft bedeutet.

Der berechnete Luftwechsel darf nicht grösser als der fünffache Rauminhalt sein. Ist der berechnete Luftwechsel grösser, so ist höchstens der fünffache Rauminhalt für L_0 anzunehmen und G_0 da nach zu bestimmen. Der alsdann nicht gedeckte Theil von W muss von den Wänden in den Räumen aufgenommen werden, vorausgesetzt, dass diese dick genug sind, und müssen diese daher entsprechend vor Benutzung der Räume gekühlt werden.

4. Bestimmung der durch Menschen und Gasbeleuchtung dem Raume zugeführten Wassermenge.

Die Wassermenge, die stündlich ein Mensch abgiebt, ist auf S. 7 zu ersehen.

Die beim Verbrennen von 1 cbm Gas entwickelte und an die Luft in Dampfform abgegebene Wassermenge ist nach F. Fischer*) etwa 1 kg.

Die gesammte der Raumluft stündlich zugeführte Wassermenge werde mit A in kg bezeichnet.

5. Bestimmung der Wassermenge, die in der eingeführten Luft enthalten sein darf.

Wird diese Wassermenge mit B bezeichnet und bedeutet ferner:

*) Ferd. Fischer, Feuerungsanlagen 1889.

Digitized by Google

p_0 den vorgeschriebenen Procentsatz der Sättigung im Raume,

g_0 die Wassermenge in kg, die bei voller Sättigung in einem kg Luft von der Temperatur t_0 enthalten ist (s. Tabelle 1),

so darf B, vermehrt um die Wassermenge, die der Luft im Raume noch zugeführt wird (A), nicht grösser sein, als die im Raume gestattete, d. h. es muss sein:

$$B + A = \frac{G_0 p_0 g_0}{100},$$

daraus folgt:

$$B = \frac{G_0 p_0 g_0}{100} - A. \qquad (261)$$

6. Bestimmung der Wassermenge, welche die Kühlflächen stündlich aus der Luft niederzuschlagen haben.

Diese Wassermenge in kg, die mit C bezeichnet werden soll, bildet den Unterschied zwischen der Wassermenge in der von aussen entnommenen und der in die Räume eingeführten Luft. Bedeutet also:

p den Procentsatz der Sättigung der Aussenluft,

g die Wassermenge in kg, die bei voller Sättigung in einem kg Aussenluft (von der Temperatur t) enthalten ist,

so muss sein:

$$C = \frac{G_0 p g}{100} - B. \qquad (262)$$

7. Bestimmung der Temperatur t_1, auf welche die einzuführende Luft gekühlt werden muss, damit sie nicht mehr als B kg Wasser enthält.

Der Vorgang der Kühlung von Luft an Kühlkörpern ist jederzeit in der Weise zu denken, dass ein Theil der Luft durch Berührung mit den Kühlflächen seine Temperatur erniedrigt, der andre Theil sich mit der gekühlten Luft mischt. Hat der erste Theil eine so niedrige Temperatur angenommen, dass er gesättigt ist, so wird die Mischluft volle Sättigung nicht mehr aufweisen. Es geht hieraus hervor, dass eine volle Sättigung der Luft durch Kühlung an Kühlkörpern, die eine geringere Temperatur als die fortgeführte Gesammtluft haben, nicht erzielt werden kann. Je mehr man durch besondere Vorrichtungen jederzeit für ein rasches Mischen der an den Kühlflächen gekühlten mit der ungekühlten Luft Sorge trägt, um so höher wird der Procentsatz der Sättigung der abgeleiteten Mischluft sein.

Bei Lüftungsanlagen kann man nun entweder die gesammte von aussen entnommene Luft oder einen Theil derselben an den Kühlkörpern vorüberführen, im letzteren Falle hat alsdann nach vollendeter

Digitized by Google

Kühlung ein Mischen der gekühlten mit der noch ungekühlten Luft zu erfolgen.

a) Die gesammte Luft G_0 wird an dem Kühlkörper vorübergeführt und von t^0 auf $t_1{}^0$ gekühlt. Die Temperatur t_1 ist nicht mit der Einströmungstemperatur der Luft t' zu verwechseln, denn es muss, unabhängig von der letzteren, die von aussen entnommene Luft so tief gekühlt werden, dass die erforderliche Feuchtigkeit sich ausscheidet. Nur in dem Falle, dass der Feuchtigkeitsgehalt in den Räumen unberücksichtigt bleiben soll — was jedoch nie zu empfehlen ist — würde $t_1 = t'$ sein.

Bedeutet:

p_1 den Procentsatz der Sättigung der Luft bei $t_1{}^0$,
g_1 die Wassermenge in kg, die bei voller Sättigung in einem kg Luft von der Temperatur t_1 enthalten ist,

dann muss die Temperatur t_1 so gewählt werden, dass in der Luft nur die gestattete Wassermenge enthalten sein kann, die übrige sich also ausgeschieden hat. Die Feuchtigkeit, die in der Luft enthalten sein darf, war B, somit muss sein:

$$B = \frac{G_0 p_1 g_1}{100}. \qquad (263)$$

Hieraus folgt:

$$g_1 = \frac{100 B}{G_0 p_1}. \qquad (264)$$

Aus den oben angeführten Gründen, nach denen eine volle Sättigung der an Kühlkörpern gekühlten Luft nicht zu erzielen ist, möge angenommen werden, dass durch besondere Vorrichtungen ein schneller Wechsel der die Kühlflächen berührenden Luft erzielt wird und dass alsdann in Gl. 264 $p_1 = 80$ bis 90 gesetzt werden kann, bei Annahme eines Procentsatzes der Sättigung der Aussenluft zu $p = 70$ bis 80.

Nach Bestimmung von g_1 ist aus Tabelle 1 sofort die diesem zugehörige Temperatur t_1 zu entnehmen.

Durch diese Rechnung erhält man die höchste noch zulässige Kühltemperatur, dagegen auch die grösste Kühlfläche. Nach der Kühltemperatur kann die Kühlflüssigkeit gewählt werden. In der Regel wird man wünschen, möglichst kleine Kühlflächen zu erhalten, muss dann allerdings Kühlkörper von niedrigerer Temperatur anwenden. Dies führt zu:

b) Ein Theil der von aussen entnommenen Luft G_0 wird gekühlt und alsdann mit dem ungekühlten Theile gemischt. Bezeichnet:

G den Theil der gesammten Luft G_0 in kg, der nicht gekühlt wird,

Digitized by Google

G_1 den Theil der gesammten Luft G_0 in kg, der gekühlt wird,
t die Temperatur der Aussenluft,
t_1 die Temperatur, auf die G_1 gekühlt werden muss,
t_2 die Temperatur der gesammten Luft G_0 nach erfolgter Mischung des gekühlten und ungekühlten Theils derselben,
p, p_1, p_2 den Procentsatz der Sättigung der Aussenluft, bezw. der Luft G_1 bezw. der Luft G_2,
g, g_1, g_2 die Wassermenge in kg, die bei voller Sättigung in einem kg der Aussenluft, bezw. der Luft G_1 bezw. der Luft G_2 enthalten ist,

so muss die Wassermenge, die nach der Kühlung und Mischung in der gesammten Luft enthalten ist, gleich sein derjenigen, die in der von aussen entnommenen Luft enthalten war, vermindert um die ausgeschiedene, d. h. es muss sein:

$$\frac{G_0 p_2 g_2}{100} = \frac{G_0 p g}{100} - C,$$

somit:

$$g_2 = \frac{G_0 p g - 100 C}{G_0 p_2}. \qquad (265)$$

p_2 kann niemals grösser und wird, wenn $p = 80$ gesetzt ist, was in der Regel zu geschehen hat, niemals kleiner als 100 sein. g_2 ist somit zu berechnen, und aus diesem folgt dann mit Hilfe der Tabelle 1 die zugehörige, d. h. die Mischungstemperatur t_2.

Aus G_1 ist die Wassermenge C niederzuschlagen, folglich muss sein:

$$C = \frac{G_1 (p g - p_1 g_1)}{100},$$

also:

$$G_1 = \frac{100 C}{p g - p_1 g_1}. \qquad (266)$$

Ferner muss sein:

$$G t + G_1 t_1 = G_0 t_2.$$

Für G kann man $G_0 - G_1$ setzen; es ergiebt sich alsdann:

$$G_1 = \frac{G_0 (t - t_2)}{t - t_1}. \qquad (267)$$

Aus dieser, wie aus Gl. 266 ist unter Annahme der Temperatur t_1, die nach Massgabe der zur Verfügung stehenden Kühlflüssigkeit zu erfolgen hat, G_1 zu bestimmen und der grössere Werth beizubehalten. p_1 ist anzunehmen (nach dem Gesagten zu etwa 90).

Digitized by Google

8. Bestimmung der Wärmemenge, die die Kühlflächen stündlich aufzunehmen haben.

Die Wärmemenge setzt sich zusammen aus derjenigen, die beim Niederschlagen des Wassers frei wird, und aus derjenigen, die zur Kühlung der Luft erforderlich ist.

Wird die gesammte Luft G_0 im Kühlkörper vorübergeführt (s. 7a) und von t auf t_1 gekühlt, so ist die Wärmemenge, die die Kühlflächen aufzunehmen haben, ohne Weiteres:

$$W' = QC + 0{,}237\, G_0 (t - t_1). \qquad (268)$$

Wird nur ein Theil der Luft (G_1) gekühlt und alsdann mit dem ungekühlten Theile gemischt, so stellt sich:

$$W' = QC + 0{,}237\, G_1 (t - t_1).$$

In beiden Fällen bedeutet Q die Wärmemenge, die beim Niederschlagen von 1 kg Wasser bei der Temperatur t_1 frei wird (latente Wärme), dieselbe ist aus Tabelle 16 zu ersehen.

9. Bestimmung der Kühlflächen.

Dieselbe erfolgt nach den betreffenden Gleichungen für die Stromfläche (s. S. 166); bei Kühlung ist Gegenstrom anzuwenden. Der Transmissionskoefficient k in diesen Gleichungen schwankt nach verschiedenen Angaben sehr bedeutend. Die Geschwindigkeit der Luft, die Trockenheit oder Feuchtigkeit der Kühlflächen durch Niederschlagswasser u. s. w. bedingen die Verschiedenheit der erzielten Ergebnisse.

Bei Temperaturen, bei denen kein Niederschlagswasser an den Kühlflächen sich abscheidet, setze man $k = 12$, anderenfalls $k = 15$.

Ist ϑ die Anfangstemperatur, ϑ_1 die Endtemperatur der Kühlflüssigkeit, so ist bei Gegenstrom (s. S. 166) die Kühlfläche:

$$F = \frac{W'}{k\{t - \vartheta_1 - (t_1 - \vartheta)\}} \, ln \, \frac{t - \vartheta_1}{t_1 - \vartheta}.$$

B) Bestimmung der Grössenverhältnisse für die Zeit vor Benutzung der Räume.

1. Bestimmung der Wärmemenge, die aus den Räumen wegzuschaffen ist.

Bei der Kühlung der Räume wird selten Dauerbetrieb angewendet werden, infolgedessen ist vor Benutzung derselben eine Abkühlung der Luft erforderlich. Wenn während der Benutzung der Räume die geforderte Temperatur durch Einführung von 17° bis 18° warmer Luft oder durch einen höchstens fünffachen Luftwechsel in der Stunde nicht erzielt werden kann, so wird, wie bereits erwähnt (S. 376), er-

Digitized by Google

forderlich, die Wände als Kühlkörper mit zu benutzen, d. h. denselben vorher so viel Wärme zu entziehen, dass durch Wiederaufnahme der Wärme während der Benutzung die gewünschte Temperatur in den Räumen sich einstellt.

Da die Kühlung als umgekehrte Heizung aufzufassen ist, so können die früher angegebenen Ausdrücke (s. S. 150 u. f.) für das Anheizen abgekühlter Räume auch für die Bestimmung der den Wänden zu entziehenden Wärmemengen zu Zwecken der Kühlung Verwendung finden. Für grosse, selten benutzte Räume ist somit die stündliche Wärmemenge bei Umlauf zu setzen:

$$W_1 = \frac{Fk_1(t-t_0)}{2} + F_1\left(23 + \frac{5(t_0'-t_0)}{z}\right), \qquad (269)$$

worin bedeutet:

F die Fensterfläche in qm,
F_1 die Wandflächen in qm,
t_0 die geforderte Temperatur in dem Raume bei Beginn der Benutzung,
t die Aussentemperatur,
t_0' die Anfangstemperatur im Raume,
z die Kühldauer in Stunden,
k den Transmissionskoefficienten für Fensterfläche.

Bezeichnet ferner W_2 die Wärmemenge, die den Wänden im Ganzen zu entziehen ist, damit der fünffache Luftwechsel bei Einführung nicht zu niedrig temperirter Luft nicht überschritten zu werden braucht, so ist stündlich an Wärme zu beseitigen:

$$W = W_1 + \frac{W_2}{z}.$$

2. Bestimmung des stündlichen Luftwechsels, der zur Kühlung des Raumes erforderlich ist.

Zu Beginn des Kühlungsbetriebes herrscht im Raume die Temperatur t_0', am Ende desselben die Temperatur t_0; für die ganze Periode wird man somit die mittlere Temperatur im Raume, also $\frac{t_0'+t_0}{2} = t_0''$ in Ansatz bringen können. Alsdann beträgt der Luftwechsel, wenn t' die Eintrittstemperatur der Luft bezeichnet und wenn die Kühlung durch Umlauf der Luft erfolgen soll:

$$G_0' = \frac{W}{0{,}237\,(t_0''-t')}.$$

t' soll nicht zu niedrig sein, damit nicht eine kleine Wandschicht sehr tief, sondern eine möglichst dicke Wandschicht mässig gekühlt

Digitized by Google

zu werden braucht. Bei einer zu geringen Temperatur der Wandoberfläche besteht die Gefahr des Niederschlagens von Wasser an derselben während der Benutzung des Raumes, auch wird eine sehr niedrige Temperatur der Wand unangenehm empfunden werden. Der Luftwechsel G_0' dagegen soll keinesfalls grösser aber möglichst gleich demjenigen sein, der während der Benutzung des Raumes erforderlich ist (G_0), damit der Betrieb der maschinellen Anlage (Ventilator) nahezu der gleiche bleiben kann. Es stehen G_0', W und t' in Abhängigkeit, die richtige Wahl von t' und der Kühldauer z sind daher von Wichtigkeit.

Soll $G_0' = G_0$ sein, so ist t' zu bestimmen, d. h. es muss sein:

$$t' = t_0'' - \frac{W}{0{,}237\, G_0}.$$

3. Bestimmung der Wassermenge, die der Luft stündlich im Mittel zu entziehen ist.

Bezeichnet:

J den Inhalt des Raumes in cbm,
p_0 den Procentsatz der Sättigung der Luft, der während der Benutzung des Raumes nicht überschritten werden soll,
p_0' den Procentsatz der Sättigung der Luft im Raume bei Beginn der Kühlung (gewöhnlich gleich dem der Aussenluft, d. h. $= p$ zu setzen),
g_0'' die Wassermenge in kg, die bei voller Sättigung in einem cbm Luft von der mittleren Raumtemperatur t_0'' enthalten ist,

so muss während der Kühlungsperiode an Wasser:

$$\frac{J g_0''}{100}\,(p_0' - p_0)$$

ausgeschieden werden. Die stündliche Ausscheidung von Wasser beträgt somit im Mittel:

$$C = \frac{J g_0''\,(p_0' - p_0)}{100\, z}. \qquad (271)$$

4. Bestimmung der Kühlflächen.

Die Kühlflächen sind genau wie unter A) zu bestimmen, so dass ohne Weiteres zu setzen ist, da die Endtemperatur nach dem Kühlungsvorgange gleich der Einströmungstemperatur der Luft anzunehmen ist:

$$F = \frac{W + QC}{k\,(t_0'' - \vartheta'' - (t' - \vartheta'))}\, ln\, \frac{t_0'' - \vartheta''}{t' - \vartheta'}, \qquad (272)$$

sofern ausser den bereits bekannten Grössen bedeutet:

Digitized by Google

Q die Wärmemenge, die beim Niederschlagen von 1 kg Wasser bei der Temperatur $\frac{t_0'' + t'}{2}$ frei wird, vermehrt um diejenige, die bei der Abkühlung des Niederschlagswassers von dieser mittleren Temperatur auf die Temperatur t' erforderlich ist,

ϑ' und ϑ'' die Anfangs- und Endtemperatur der Kühlflüssigkeit,
k den Transmissionskoefficienten.

Die Temperaturen ϑ' und ϑ'' sind möglichst so zu wählen, dass F so gross wie das bei Benutzung des Raumes erforderliche wird, oder es ist anzunehmen, dass ein Theil der Kühlfläche bei der Vorkühlung ausgeschaltet werden muss. Keinesfalls soll dieses F grösser als das andere sich stellen, es ist dann in einem solchen Falle z grösser anzunehmen.

IV. Beispiel zur Berechnung einer Kühlungsanlage.

Aufgabe. Ein mit elektrischer Bogenlicht erleuchteter Saal von 20 m Länge, 12 m Breite und 10 m Höhe soll monatlich einmal von 200 Personen benutzt werden. Während der Benutzung, deren Dauer auf 3 Stunden zu bemessen ist, soll die Temperatur nicht über 22° ansteigen. Als höchste Aussentemperatur sind 30°, als niedrigste Einströmungstemperatur der Luft 17° anzunehmen. Der Feuchtigkeitsgehalt im Saale darf, sofern derjenige der Aussenluft 80 % absoluter Sättigung beträgt, 50 % nicht übersteigen. Vor Beginn der Kühlung ist die Temperatur im Saale zu 26° anzunehmen. Die stündliche Wärmetransmission von aussen nach innen bei einem Temperaturunterschiede von $30 - 22 = 8°$ berechne sich zu 9600 *WE*. Der Luftwechsel für die Person und Stunde darf 40 cbm nicht übersteigen. Die Kühlung des Saales vor Benutzung desselben ist durch Luftumlauf zu bewirken.

Lösung der Aufgabe.

A) Bestimmung der Grössenverhältnisse für die Zeit während der Benutzung der Räume.

1. Bestimmung der Temperaturen im Saale während der Benutzung.

Die Temperatur in Kopfhöhe beträgt der Aufgabe gemäss $t_0 = 22°$. Die Temperatur unter der Decke ist gemäss Gl. 21 b zu $t_0' = 22 + 0{,}03 \cdot 22\,(10 - 3) \sim 27°$, die mittlere Temperatur im Saale somit zu $\frac{22 + 27}{2} \sim 25°$ anzunehmen.

2. Bestimmung der Wärmemenge, die stündlich im Beharrungszustande beseitigt werden muss.

a) Die stündliche Wärmeüberführung beträgt (gemäss der Aufgabe) $W_1 = 9600\,WE$.

b) Die stündlich bei 22° durch die Menschen abgegebene Wärme ist nach S. 9 zu setzen: $W_2 = 200 \cdot 6\,(37 - 22) = 18000\,WE$.

c) Die stündlich durch die Beleuchtung abgegebene Wärmemenge kann, da elektrisches Bogenlicht vorgesehen ist, vernachlässigt werden.

Die gesammte im Beharrungszustande stündlich zu beseitigende Wärmemenge ist somit gemäss Gl. 259:

$$W = W_1 + W_2 = 9600 + 18000 = 27600\,WE.$$

Digitized by Google

3. Bestimmung des erforderlichen geringsten Luftwechsels im Raume.

Nach Gl. 260 beträgt der erforderliche Luftwechsel:

$$G_0 = \frac{27600}{0{,}237\,(25-17)} = 14557 \text{ kg oder}$$

$$L_0 = \frac{27600\,(1+\alpha\cdot 25)}{0{,}306\,(25-17)} = 12312 \text{ cbm.}$$

Es würde somit ein Luftwechsel von $\frac{12312}{200} \sim 62$ cbm auf die Person kommen. Da 40 cbm nur gestattet sind, darf der gesammte Luftwechsel höchstens 8000 cbm = 9576 kg von 22° betragen, es möge derselbe somit zu

$$G_0 = 9500 \text{ kg}$$

angenommen werden.

Mit Hilfe dieses Luftwechsels können stündlich nur

$$9500 \cdot 0{,}237\,(25-17) \sim 18000\,WE$$

beseitigt werden. $27600\,WE$ sind zu beseitigen, somit müssen stündlich $27600 - 18000 = 9600\,WE$ durch die Wände aufgenommen, diese also vor Benutzung des Saales entsprechend gekühlt werden.

4. Bestimmung der durch Menschen und Beleuchtung dem Saale zugeführten Wassermenge.

Da elektrisches Bogenlicht vorhanden, kommt nur die Feuchtigkeitsabgabe der Personen in Frage; dieselbe beträgt (s. S. 7):

$$A = 0{,}040 \cdot 200 = 8{,}0 \text{ kg.}$$

5. Bestimmung der Wassermenge, die in der eingeführten Luft enthalten sein darf.

Für dieselbe ist Gl. 261 zu benutzen. Im vorliegenden Falle ist $G = 9500$. p_0 (vorgeschrieben) $= 50$, g_0 (für die zulässige Temperatur in Kopfhöhe von 22° nach Tabelle 1) $= 0{,}0161$, somit die zulässige Wassermenge:

$$B = \frac{9500 \cdot 50 \cdot 0{,}0161}{100} - 8 = 68{,}5 \text{ kg.}$$

6. Bestimmung der Wassermenge, die die Kühlflächen aus der Luft niederzuschlagen haben.

Die Wassermenge stellt sich nach Gl. 262, da in 1 kg gesättigter 30° warmer Luft 0,0259 kg Wasser enthalten ist (s. Tabelle 1):

$$C = \frac{9500 \cdot 80 \cdot 0{,}0259}{100} - 68{,}5 = 128{,}3 \text{ kg.}$$

7. Bestimmung der Temperatur, auf die die einzuführende Luft gekühlt werden muss, damit sie nicht mehr als 68,5 kg Wasser enthält.

Es sind zwei Fälle zu unterscheiden: **a) Die gesammte Luft von 9500 kg**

Digitized by Google

wird an dem Kühlkörper vorüber geführt und von 30° auf t_1° gekühlt. Alsdann muss nach Gl. 264 sein, wenn (nach früher Gesagtem) $p_1 = 90$ gesetzt wird:

$$g_1 = \frac{100 \cdot 68{,}5}{9500 \cdot 90} = 0{,}0081.$$

Diesem Werthe von g_1 entspricht nach Tabelle 1 eine Temperatur zwischen 10 und 11°, so dass $t_1 = 10°$ gesetzt werden soll.

b) Ein Theil der von aussen entnommenen Luft von 9500 kg wird gekühlt und alsdann mit dem ungekühlten Theile gemischt. Zunächst ist die Mischtemperatur zu bestimmen. Nach Gl. 265 stellt sich, da für die Aussenluft $p = 80$, $g = 0{,}0259$ und $p_2 = 100$ anzunehmen ist:

$$g_2 = \frac{9500 \cdot 80 \cdot 0{,}0259 - 100 \cdot 128{,}3}{9500 \cdot 100} = 0{,}0072.$$

Aus Tabelle 1 folgt somit die Wärmetemperatur zwischen 9 und 10°, so dass also $t_2 = 10$ gesetzt werden soll.

Die Luftmenge G_1, die zu kühlen ist, berechnet sich, wenn die Temperatur $t_1 = 0°$ angenommen wird, gemäss Gl. 266, da für die Temperatur 0 aus Tabelle 1 der Werth für g_1 sich zu 0,0038 ergiebt und nach Gesagtem $p_1 = 90$ gesetzt werden soll:

$$G_1 = \frac{100 \cdot 128{,}3}{80 \cdot 0{,}0259 - 90 \cdot 0{,}0038} = 7416 \text{ kg}.$$

Aus Gl. 267 ergiebt sich aber weiter:

$$G_1 = \frac{9500\,(30 - 10)}{30 - 0} = 6333 \text{ kg},$$

es sind somit 7416 kg als der grössere Werth für G_1 beizubehalten.

8. Bestimmung der Wärmemenge, die die Kühlflächen stündlich aufzunehmen haben.

Wird die gesammte Luft von 30° auf 10° gekühlt, so ist nach Gl. 268, da die latente Wärmemenge des Wasserdampfes bei 10° zu rund 600 angenommen werden kann, 128,3 kg Wasser niederzuschlagen sind:

$$W' = 600 \cdot 128{,}3 + 0{,}237 \cdot 9500\,(30 - 10) = 122010\ WE.$$

Werden nur 7416 kg Luft auf 0° gekühlt, so ist:

$$W' = 606{,}5 \cdot 128{,}3 + 0{,}237 \cdot 7416\,(30 - 0) = 130542\ WE.$$

9. Bestimmung der Kühlflächen.

Da Wasser niederzuschlagen ist, kann $k = 15$ gesetzt werden. Nimmt man, sofern die 9500 kg von 30° auf 10° gekühlt werden sollen, die Anfangstemperatur der Kühlflüssigkeit $\vartheta = 8°$, die Endtemperatur $\vartheta_1 = 12$ an, sofern nur 7416 kg von 30° auf 0° gekühlt werden sollen, $\vartheta = -10°$, $\vartheta_1 = 0°$ an, so ist im ersten Falle:

$$F = \frac{122010}{15\,(30 - 12 - (10 - 8))}\, ln\, \frac{30 - 12}{10 - 8} = 953 \text{ qm},$$

im zweiten Falle:

$$F = \frac{130542}{15\,(30 - 0 - (0 + 10))}\, ln\, \frac{30 - 0}{0 + 10} = 478 \text{ qm}.$$

Digitized by Google

B) Bestimmung der Grössenverhältnisse für die Zeit vor Benutzung der Räume.

1. Bestimmung der Wärmemenge, die aus den Räumen wegzuschaffen ist.

Es möge der Saal 1000 qm Wandfläche, 94 qm Fensterfläche haben, die Aussentemperatur ist 30°, die geforderte in Kopfhöhe 22°, die Anfangstemperatur vor der Kühlung 26°, alsdann ist nach Gl. 269:

$$W_1 = \frac{94 \cdot 5{,}3(30-22)}{2} + 1000\left(23 + \frac{5(26-22)}{z}\right) = 25000 + \frac{20000}{z}.$$

Die Wärmemenge, die den Wänden vor der Benutzung des Saales zu entziehen ist, beträgt 9600 *WE* stündlich, bei einer Benutzungsdauer des Saales von 3 Stunden somit 28800 *WE*. Während der Kühldauer z ist somit an Wärme wegzuschaffen:

$$W = W_1 + \frac{W_2}{z} = 25000 + \frac{20000}{z} + \frac{28800}{z} = 25000 + \frac{48800}{z}.$$

Nimmt man 8 Stunden Kühldauer an, also $z = 8$, so ergiebt sich die stündlich fortzuschaffende Wärme zu 31100 *WE*.

2. Bestimmung des stündlichen Luftwechsels, der zur Kühlung des Raumes erforderlich ist.

Die mittlere Saaltemperatur während der Kühldauer ist:

$$t_0'' = \frac{26+22}{2} = 24°,$$

somit beträgt nach Gl. 270 der erforderliche Luftwechsel, Umlauf der Luft vorausgesetzt:

$$G_0' = \frac{31100}{0{,}237\,(24-t')}.$$

Setzt man jedoch zum Zwecke des gleichmässigen maschinellen Betriebs die Menge der einströmenden Luft während des Betriebs gleich derjenigen vor der Benutzung, also $G_0' = G_0 = 9500$ kg, so ist:

$$t' = 24 - \frac{31100}{0{,}237 \cdot 9500} \sim 10°.$$

Diese Temperatur muss als angemessen bezeichnet werden, da bei derselben die Luft selbst im gesättigten Zustande nicht mehr Wasser enthalten kann, als bei der Saaltemperatur von 22° einer Sättigung von 50 % entspricht.

3. Bestimmung der Wassermenge, die der Luft im Mittel stündlich zu entziehen ist.

Der Inhalt des Saales sei $J = 2400$ cbm, die Wassermenge, die bei voller Sättigung in einem cbm Luft von 24° enthalten sein kann, ist $g_0'' = 0{,}0216$ kg, der Procentsatz der Sättigung der Luft im Raume bei Beginn der Kühlung sei gleich der der Aussenluft, also 80, der Procentsatz der Sättigung der Luft, der während der Benutzung des Saales nicht überschritten werden soll, beträgt 50, somit ist die Wassermenge, die der Luft stündlich zu entziehen ist, nach Gl. 271:

$$C = \frac{2400 \cdot 0{,}0216(80-50)}{100 \cdot 8} = 1{,}94 \text{ kg}.$$

Digitized by Google

4. Bestimmung der Kühlflächen.

Die Temperaturen der Kühlflächen sind so zu wählen, dass für dieselben möglichst die gleichen Kühlflächen sich ergeben, wie die bei Benutzung des Saales erforderlichen; keinesfalls dürfen die Kühlflächen für die Vorkühlung des Saales grösser werden. Bei Benutzung des Saales hatte sich für den Fall, dass ein Theil der Luft gekühlt wird, eine Kühlfläche von 478 qm ergeben, somit muss sein:

$$478 \geqq F.$$

Da die Temperatur, auf welche die Luft gekühlt werden muss, 10°, die latente Wärme des Wasserdampfes bei 10° rund 600 WE beträgt und 1,94 kg Wasser stündlich niederzuschlagen sind, so ergiebt sich für $\vartheta' = 8°$ und $\vartheta'' = 15°$ nach Gl. 272:

$$F = \frac{31100 + 600 \cdot 1{,}94}{15\,(24 - 15 - (10 - 8))}\, ln\, \frac{24 - 15}{10 - 8} = 461{,}4 \text{ qm},$$

also ist durch diese Wahl der Temperaturen der Kühlflüssigkeit mit 478 qm genügende Uebereinstimmung vorhanden.

Achtzehntes Kapitel.

Vergebung von Lüftungs- und Heizungsanlagen.

Die Vergebung einer Lüftungs- und Heizungsanlage erfolgt zur Zeit in der Praxis entweder freihändig oder auf Grund einer Submission an den Mindestfordernden oder nach dem Ausfalle eines eigentlichen Wettbewerbs.

Die freihändige Vergebung ist lediglich eine Sache des Vertrauens und daher hier nicht weiter zu behandeln.

Die Vergebung auf Grund einer beschränkten oder öffentlichen Submission an den Mindestfordernden setzt voraus, dass ein nicht bei der Ausführung Betheiligter den Entwurf bezw. auch den Kostenanschlag aufgestellt hat. In den seltensten Fällen wird hierdurch etwas Ordentliches erreicht, da für das Gelingen der Anlage ausser dem erzielten meist gedrückten Preise für die Ausführung sowohl die Tüchtigkeit des Verfertigers des Entwurfs als auch diejenige des Ausführenden in Frage kommen. In dem Verfahren einer Submission muss meist eine Schädigung der materiellen Interessen des Auftraggebers und Auftragnehmers und eine Hinderung gedeihlichen Fortschrittes, immer aber eine Schädigung der geistigen Interessen des Auftragnehmers, eine Geringschätzung seines Wissens, häufig auch eine Herabsetzung seines Standes erblickt werden, mit einem Worte: eine Submission mit Vergebung an den Mindestfordernden ist geradezu als ein Krebsschaden für die gesunde Ent-

Digitized by Google

wickelung des Faches zu bezeichnen, der nicht kräftig genug bekämpft werden kann. Die ausführenden Ingenieure sollten sich im Interesse ihres Faches an einer derartigen Ausschreibung nicht betheiligen, die Ingenieure, die veranlasst werden, Entwürfe und Kostenanschläge für genannten Zweck zu verfertigen, sollten dies ablehnen. Nur durch Förderung und Entfaltung der geistigen Kräfte können Fortschritte erzielt werden, und kein Ingenieur sollte sich dazu hergeben, ein Hemmschuh dieser Fortschritte zu werden.

Der volle Gegensatz zu der vorbezeichneten Arbeitsvergebung, d. h. der freie Wettbewerb ohne jede Vorschrift für die Ausführung, kann freilich auch nicht empfohlen werden, da hierdurch den Sonderinteressen der Ausführenden zu weiter Spielraum gelassen wird. Das Richtige liegt in der Mitte — die Vergebung einer jeden Anlage, soweit diese nicht durch besonderes Vertrauen freihändig erfolgen soll, hat aus einem auf Grund eines eingehenden und durchdachten Programms ausgeschriebenen Wettbewerbe hervorzugehen. Derjenige Ingenieur soll mit der Ausführung betraut werden, der das annehmbarste Angebot gemacht hat. Selbstverständlich muss bei einem solchen die Güte des Entwurfs und die Angemessenheit der Preise Hand in Hand gehen. Ein Wettbewerb sichert meist, dass die Einzelpreise einen wesentlichen Unterschied nicht aufweisen. Bedeutende Unterschiede in den Endsummen der Kostenanschläge werden bei einem richtig geleiteten Wettbewerbe vorwiegend durch die mehr oder weniger sorgfältige Durcharbeitung und Berechnung der Entwürfe bedingt. Allerdings führt die flüchtige Behandlung einer Aufgabe ebenso leicht zu einem billigen Angebote als eine eingehende Berechnung der einzelnen Theile — infolgedessen dürfen eben niemals für Vergebung der Arbeiten lediglich die Kosten ausschlaggebend sein.

Wenn die in amtlicher Stellung befindlichen Ingenieure ihre Thätigkeit auf die Aufstellung der Programme, auf die Leitung der Wettbewerbe, auf die Ueberwachung der Ausführung und auf Beobachtungen und Versuche mit fertigen Anlagen beschränken wollten und könnten, so würden sie in hohem Maſse den Interessen ihrer Behörde und den Interessen ihres Faches dienen.

I. Programm für die Ausführung von Lüftungs- und Heizungsanlagen.

Das Programm einer Anlage bildet die Grundlage für die Ausführung und somit auch diejenige für die Sicherheit der Erzielung des geforderten Effekts und ist mithin für das Gelingen der Anlage von einschneidender Bedeutung. Das Programm für einen Wettbewerb muss den Ausführenden zwar den Weg vorschreiben, den sie zur sachgemässen Lösung der Aufgabe einzuhalten haben, ihnen aber

Digitized by Google

freie Entfaltung ihres Könnens und ihrer Erfahrungen gewähren. Es ist hauptsächlich dazu da, die Forderungen genau zu bezeichnen, die die Anlage erfüllen soll, und die Bewerber auf eine gleiche Arbeitsbasis zu stellen. Das Programm darf z. B. — falls nicht nur ein Ideenwettbewerb beabsichtigt ist — die Bewerber nicht im Zweifel lassen, welches Heizsystem zu wählen ist. Es muss als ein Fehler bezeichnet werden, wenn bei einem Wettbewerbe von ein und derselben Firma eine Anzahl Entwürfe zur Auswahl gestellt wird. Ein Entwurf kann nur der empfehlenswertheste sein; diesen soll die betreffende Firma anbieten. Ein richtiges Programm hat derartig unsichere Angebote auszuschliessen.

Im Folgenden werden alle diejenigen Punkte Aufnahme finden, die in der Regel ein Programm enthalten sollte, sofern auf Grund desselben ein Wettbewerb beabsichtigt wird.

Jedem Programme sind Angaben über die Lage des Gebäudes nach Himmelsgegend und Umgebung, über den höchsten Grundwasserstand und den Einfluss von Wetter und Wind, sowie über den Zweck und die Art und Dauer der täglichen Benutzung der Räume voranzustellen.

A) Bedingungen für den Effekt der Anlagen.

1. Für sämmtliche Lüftungsanlagen.

Für diese sind anzugeben:

a) Der geringste erforderliche Luftwechsel. Derselbe kann der Zusammenstellung auf S. 17 entnommen werden, übersteigt derselbe jedoch die Grösse des fünffachen Rauminhalts, so ist nur diese vorzuschreiben (S. 13).

Ueber den fünffachen Luftwechsel darf der Auftragnehmer unter gewöhnlichen Verhältnissen nicht hinausgehen, bis zu demselben muss ihm jedoch gestattet werden, den vorgeschriebenen zu steigern, sofern dies nach den weiter zu stellenden Bedingungen erforderlich ist. Er hat jedoch die nothwendige Steigerung durch Rechnung zu belegen, und sofern er auch mit dem fünffachen Luftwechsel die gestellten Bedingungen nicht erfüllen kann, die vorzunehmende Aenderung derselben anzugeben und nachzuweisen.

b) Die voraussichtlich grösste Anzahl von Personen, die sich in den einzelnen zu lüftenden Räumen aufhalten werden.

c) Die Art und Weise der Beleuchtung der Räume; bei Gasbeleuchtung ausserdem die Anzahl der Flammen und die Anordnung derselben.

Diese Angaben sind nur erforderlich, sofern eine bestimmte Temperatur in den Räumen nicht überschritten werden darf.

d) Die erforderliche geringste Temperatur in den Räumen (S. 40).

e) Die höchste zulässige Temperatur in den Räumen (S. 15).

Digitized by Google

Diese ist nur vorzuschreiben, wenn die Temperatur in den Räumen infolge der Anwesenheit einer grossen Anzahl von Personen oder der Anordnung einer umfangreichen Beleuchtung ohne Einführung kühlerer Luft eine zu bedeutende Höhe erreichen würde.

f) Die höchste und niedrigste Temperatur der äusseren Luft, bei welcher der erforderliche Luftwechsel noch erzielt werden soll (S. 39).

g) Die Entnahmestellen für frische Luft (S. 29).

h) Die Art der Reinigung der von aussen entnommenen Luft (S. 29).

i) Die Höhe des zu erzielenden Feuchtigkeitsgehalts in den zu lüftenden Räumen vor Benutzung derselben (S. 7).

k) Die Druckverhältnisse in den zu lüftenden Räumen (Ueber- oder Unterdruck bezw. Lage des Gleichgewichts mit der äusseren Luft) (S. 76).

l) Die Räume, die im Kellergeschosse für die Anlage zur Verfügung gestellt werden können. Die Angabe soll eine derartige sein, dass, sofern der Bewerber auch nicht alle Räume benutzen darf, er doch eine freie Auswahl unter denselben treffen kann.

2. Für sämmtliche Heizungsanlagen.

Für diese sind anzugeben:

a) Die Temperatur, die in den Räumen noch bei der niedrigsten Aussentemperatur herrschen soll (S. 40).

b) Die niedrigste äussere Temperatur, bei der noch die in den Räumen geforderte Wärme erzielt werden soll (S. 148).

c) Feuerungsanlagen:

- α) Das Brennmaterial, das in Anwendung kommen soll; wenn möglich auch die betreffende Zeche desselben.
- β) Die Temperatur, mit der die Verbrennungsgase in den Schornstein treten dürfen (S. 160).
- γ) Die Forderung rauchfreier Verbrennung während des Beharrungszustandes. (In der Regel ist ein leichter durchsichtiger Rauch zu gestatten.)
- δ) Die Räume, die im Kellergeschosse für die Anlagen zur Verfügung gestellt werden können.

3. Für Warmwasserheizung.

Für diese sind anzugeben:

a) Feuerungsanlage.

- α) Die höchste zulässige Temperatur, bis auf die das Wasser erwärmt werden darf (S. 187).
- β) Die Dauer des täglichen Anheizens.
- γ) Die bedingte Annahme eines Ersatzkessels.

Digitized by Google

δ) Die Grössenverhältnisse der Heizkessel — sofern deren mehrere vorhanden sind — zu einander (S. 207).

ε) Die bedingte Annahme eines selbstthätigen Verbrennungsreglers bei ununterbrochenem Betriebe.

ζ) Die Bedingung, dass bei ununterbrochenem Betriebe Nachtbedienung ausgeschlossen bleiben muss.

η) Die Entwässerung und Speisung der Anlage.

b) Heizkörper.

α) Die Art der Heizkörper (S. 211).

β) Die Regelung der Wärme-Abgabe (S. 212).

γ) Die Entlüftung der Heizkörper (S. 202).

δ) Allgemeine Anordnung der Heizkörper in den Räumen (S. 161).

c) Die Rohrleitung.

α) Vertheilung des warmen Wassers (S. 200).

β) Anordnung getrennter Sammelleitungen für Heizkörper, die in Räumen gleicher Himmelsgegend liegen.

γ) Herstellung der Rohrleitung (S. 214).

δ) Die Sicherung der Wanddurchgänge mittels einzumauernder Hülsen (S. 215).

ε) Anordnung der Röhren. Hierbei ist hauptsächlich vorzuschreiben, ob die senkrechten Röhren frei liegen oder in Wandschlitzen unterzubringen sind, und ob die Wandschlitze hohl vermauert oder mit Platten verkleidet werden sollen.

ζ) Befestigung der Röhren. Hierbei ist nur anzugeben, dass die Röhren sich, ohne Beschädigung zu erleiden, ausdehnen können (S. 215).

η) Anstrich und Schutz der Röhren gegen Wärme-Abgabe (S. 216).

d) Das Ausdehnungsgefäss.

α) Die Art des Gefässes bei Mitteldruckheizung (Gefäss mit Ventil oder Windkessel).

β) Die Lage desselben im Gebäude.

e) Prüfung der Anlage unter Druck (S. 216).

4. Für Heisswasserheizung.

Für diese sind anzugeben:

a) Die höchste zulässige Temperatur des Wassers (S. 187).

b) Die Kuppelung der Systeme (S. 256).

c) Umkleidung der Röhren, die nicht Wärme abgeben sollen.

d) Allgemeine Anordnung von Wärmeröhren in den einzelnen Räumen.

Digitized by Google

e) Ausschaltung einzelner Räume von der Erwärmung. Im Allgemeinen sind die Ausschaltungen zu vermeiden (S. 256).

f) Anordnung von Ausdehnungsgefässen oder Ausdehnungsröhren (S. 257).

g) Prüfung der Anlage unter Druck (S. 255).

5. Für Hochdruck-Dampfheizung.

Für diese sind anzugeben:

a) Feuerungsanlagen.

α) Die Dampfspannung im Kessel, sowie die Dauer des täglichen Anheizens vom Anlassen des Dampfes bis zum Eintritte der geforderten Wärme in den Räumen bei der niedrigsten Aussentemperatur.

β) Die bedingte Annahme eines Ersatzkessels.

γ) Die Speisung der Kessel. In dieser Beziehung ist eine Angabe über die Beschaffenheit des Wassers, das zu Speisezwecken dienen soll, zu machen und eventuell vorzuschreiben, dass das Niederschlagswasser zur Speisung zu verwenden ist.

b) Die Heizkörper.

α) Die höchste zulässige Spannung des Dampfes in dem vom Kessel am entferntesten gelegenen Heizkörper (S. 284).

β) Die Art der Heizkörper (S. 289).

γ) Die Regelung der Wärme-Abgabe (S. 290).

δ) Allgemeine Anordnung der Heizkörper in den Räumen (S. 161).

c) Die Rohrleitung.

α) Material (S. 293).

β) Zulässige Spannung des Dampfes in der Leitung vom Kessel bis zum Vertheilungsstrange, sowie diejenige im Vertheilungsstrange selbst (S. 284).

γ, δ, ε, ζ und η wie bei der Warmwasserheizung.

d) Prüfung der Anlage (S. 296).

6. Für Niederdruck-Dampfheizung.

Für diese sind anzugeben:

a) Feuerungsanlage.

α) Die zulässige höchste Dampfspannung und die Dauer des täglichen Heizbetriebes (unter- oder ununterbrochener Betrieb).

β) Die bedingte Annahme eines Ersatzkessels.

γ) Die Bedingung, dass bei ununterbrochenem Betriebe Nachtbedienung ausgeschlossen bleiben muss.

Digitized by Google

b) Die Heizkörper.

β, γ und δ der Hochdruck-Dampfheizung.

c) Die Rohrleitung.

α der Hochdruck-Dampfheizung,

δ, ε, ζ und η der Warmwasserheizung.

d) Prüfung der Anlage (S. 330).

7. Für Dampf-Warmwasserheizung.

Für diese sind die betreffenden Angaben von 3 und 5 zu machen.

8. Für Dampf-Wasserheizung.

Für diese sind die betreffenden Angaben von 5 zu machen und ausserdem die Betriebsdauer bei der niedrigsten Aussentemperatur zu bestimmen.

9. Für Feuer-Luftheizung.

Für diese sind anzugeben:

a) Die höchste zulässige Temperatur der in die Räume strömenden Luft während und vor Benutzung der Räume (S. 41).

b) Die Entnahmestellen der frischen Luft (S. 29).

c) Die Art der Reinigung der von aussen entnommenen Luft (S. 29).

d) Der zu erzielende Feuchtigkeitsgehalt in den zu lüftenden Räumen vor Benutzung derselben (S. 33).

e) Bedingungen für die Güte des Heizapparats, insonderheit das Vermeiden von Glühendwerden einzelner Theile desselben (S. 361).

f) Die weiteren bei Lüftungsanlagen zu machenden Angaben, sofern bei der Luftheizung nicht nur auf Erwärmung der Räume, sondern auch auf eine bestimmte Lüftung derselben Werth gelegt werden muss.

10. Für Wasser- bezw. Dampf-Luftheizung.

Für diese sind die betreffenden Bedingungen von 3 oder 4 und 9 bezw. 5 und 8 massgebend.

11. Für Kühlungsanlagen.

Für diese sind anzugeben:

a) Die niedrigste zulässige Temperatur der einzuführenden Luft (S. 373).

b) Die höchste Temperatur der Aussenluft (S. 372).

c) Die höchste zulässige Temperatur in den Räumen bei Benutzung derselben.

Digitized by Google

d) Der höchste zulässige Feuchtigkeitsgehalt in den zu lüftenden Räumen (S. 373).

B) Bedingungen für das Angebot und die Ausführung der Anlagen.

Für dieselben kann folgender Entwurf dienen.

1. Angebot.

Bezüglich des Angebots sind vom Bewerber zu liefern:

a) Ein Entwurf, der nur insoweit auf genauer Berechnung zu beruhen und Maſsangaben zu enthalten braucht, als dieselben für den Nachweis der Ausführbarkeit der Anlage, sowie für den Kostenanschlag erforderlich sind. Die Einlieferung mehrerer Entwürfe zur beliebigen Auswahl ist nicht gestattet.

b) Ein kurzer, sachlicher Erläuterungsbericht, in dem gleichzeitig etwaige Bedenken gegen das Programm enthalten sein müssen.

c) Ein Nachweis über die angestellte Berechnung der Anlagen.

d) Die zum Verständnisse des Entwurfs und Prüfung des Kostenanschlags erforderlichen Zeichnungen einzelner Theile der Anlage oder der veranschlagten Konstruktionen.

e) Ein prüfungsfähiger Kostenanschlag.

Der Kostenanschlag ist für eine jede Anlage getrennt aufzustellen. Aus den einzelnen Ansätzen muss deutlich der Zweck, die Art und Weise der veranschlagten Gegenstände hervorgehen.

Alle Heizapparete sind nach Heizfläche und Gewicht, Kessel auch nach Wandstärke anzugeben, Heizkörper, von denen die schmiedeeisernen grundirt geliefert werden müssen, getrennt von den Kosten der Aufstellung in Ansatz zu bringen. Alle Rohrleitungen sind mit dem inneren und äusseren Durchmesser und einschliesslich des Verlegens und Dichtmaterials aufzunehmen, die Formstücke, Lagerung und Befestigungstheile derselben in einem bestimmten Verhältnisse zum Preise der Rohrleitungen anzugeben. Gitter, Klappen, Schieber sind nach Fläche, Ausdehnungsgefässe für Wasser, Saugkappen für Abzugsschächte nach Maſs aufzuführen.

Der Anschlag muss alle zur vollständigen Herstellung der Anlage erforderlichen Theile enthalten; ist dies nicht der Fall, so hat gleichwohl der Bewerber dieselben und zwar ohne Anspruch auf Entschädigung zu liefern. Erd-, Maurer-, Stemm-, Zimmerer-, Tischler- und Malerarbeiten sind nicht zu veranschlagen; dieselben lässt die Bauleitung, soweit sie jedoch für die Güte der Anlagen von Wesenheit sind nach den schriftlichen Angaben bezw. Zeichnungen des Auftragnehmers und unter seiner Verantwortung für die Richtigkeit derselben, ausführen.

Der Kostenanschlag ist in folgende Titel zu ordnen:

Digitized by Google

Titel I. Wärme-Entwickler (Kessel, Luftheizapparate u. s. w.) mit allem Zubehöre.

„ II. Heizkörper mit allem Zubehöre, einschliesslich der Regelungsvorrichtungen für die Wärme-Abgabe.

„ III. Rohrleitungen und deren Anstrich, Mauer- und Decken-Schutzhülsen, Wärmeschutzmasse.

„ IV. Ausdehnungsgefässe, Niederschlagswasserableiter, Hauptventile, Dampfdruck-Reducirventile u. s. w.

„ V. Regelungsvorrichtungen für Luftkanäle, nebst Gittern, Filtern, Saugkappen u. s. w.

„ VI. Insgemein.

2. Engerer Wettbewerb.

Kann kein Angebot als das annehmbarste bezeichnet werden, ergeben sich vielmehr mehrere Entwürfe bei Abwägung der Vorzüge und Nachtheile nach Ansicht der Bauleitung oder des von derselben befragten Sachverständigen als gleichwerthig, so findet zwischen den betreffenden Bewerbern ein engerer Wettbewerb nach den entsprechend ergänzten Bedingungen statt. Bei dem erneuten Wettbewerbe dürfen die Einheitspreise der Kostenanschläge nicht erhöht werden.

3. Vergütung für die gelieferten Arbeiten.

Die zum Wettbewerbe aufgeforderten Bewerber erhalten, mit Ausnahme desjenigen, dem die Ausführung der Anlage übertragen wird, für ihre Arbeiten eine Vergütung von .... Mark. Die Arbeiten gehen damit mit Ausnahme der Zeichnungen einzelner Konstruktionstheile zur freien Benutzung in den Besitz des Auftraggebers über.

4. Ertheilung des Zuschlags.

Der Verfertiger des annehmbarsten Angebots ist verpflichtet, unter Berücksichtigung der empfehlenswerthen Anordnungen der angekauften Entwürfe, unverzüglich den für die Ausführung zu Grunde zu legenden Entwurf und Kostenanschlag anzufertigen bezw. sein Angebot entsprechend zu vervollständigen und hierfür die erforderliche genaue Berechnung anzustellen. Die Arbeiten sind alsdann unter Nachweis der Berechnung zur Genehmigung einzureichen und erfolgt nach derselben Ertheilung des Zuschlags und Abschluss des Vertrags unter Zugrundelegung der für den Effekt der Anlage aufgestellten, sowie der nachfolgenden Bedingungen.

Digitized by Google

5. Beginn der Arbeiten.

Nach erfolgter schriftlicher Aufforderung hat der Auftragnehmer innerhalb . . . . Tagen mit den Arbeiten zu beginnen und dieselben innerhalb . . . . Monaten zu beenden.

Unverschuldete Verzögerungen in der Fertigstellung der Arbeiten hat der Auftragnehmer dem Auftraggeber bezw. der Bauleitung anzuzeigen und werden diese alsdann gebührend berücksichtigt.

Verzögerungen durch Verschulden des Auftragnehmers sollen, sofern sie für Fertigstellung des ganzen Gebäudes von Wesenheit sind, eine Kürzung seines Guthabens in Höhe von . . . . Mark für jeden Tag der Verzögerung zur Folge haben.

6. Probebetrieb und Uebernahme der Anlagen.

Nach Fertigstellung der Anlagen hat eine Prüfung der Anlage, sowie anschliessend an dieselbe, ein Probebetrieb stattzufinden, durch den der betriebsfähige Zustand und die ordnungsmässige Ausführung der Anlage nachgewiesen werden soll. Die hierzu erforderlichen Mannschaften und Apparate hat der Auftragnehmer zu stellen, das Brennmaterial (bezw. auch das Wasser) die Bauleitung zu liefern.

Der Probebetrieb ist bis zur Beseitigung der bei demselben auftretenden Mängel fortzusetzen. Vor Einstellung des Probebetriebs ist die Anwesenheit des Auftragnehmers oder eines Bevollmächtigten erforderlich und findet alsdann die Uebernahme der Anlagen seitens der Bauleitung statt. Die Uebernahme geschieht unter Aufsetzung eines beiderseitig zu unterschreibenden Protokolls.

7. Bedienung der Anlagen.

Für den späteren Betrieb und die Bedienung der Anlagen hat der Auftragnehmer Vorschriften ausarbeiten und die Heizer, die möglichst schon bei der Probeheizung anwesend sein sollen, genügend unterrichten zu lassen. Der Auftragnehmer ist verpflichtet, unaufgefordert, jedoch gegen Erstattung der etwa erforderlichen Reisekosten, im Laufe der ersten Betriebsperiode mindestens einmal sich persönlich oder durch einen Bevollmächtigten von dem ordnungsmässigen Zustande der Anlagen zu überzeugen und etwa hierbei gefundene Mängel in der Bedienung zur Anzeige zu bringen.

8. Gewähr des Auftragnehmers.

Für die sämmtlichen Anlagen in allen ihren Theilen, sowohl in Bezug auf Erfüllung der gestellten Bedingungen und des geforderten Effekts als in Bezug auf Materialien und Güte der Ausführung hat

Digitized by Google

der Auftragnehmer eine Gewähr bis zu dem Zeitpunkte zu übernehmen, an dem die Anlagen zwei Heizperioden hindurch betrieben oder drei Jahre von der Bauleitung übernommen worden sind.

Während dieser Zeit hat er auf seine Kosten alle sich herausstellenden Fehler zu beseitigen und alle nöthigen Reparaturen, soweit solche durch sein Verschulden hervorgerufen sind, auszuführen. Die naturgemässe Abnutzung der Roste — mit Ausnahme von Wasserrohrrosten — fällt nicht unter die Gewähr.

Sofern ein Zweifel über den Effekt der Anlagen herrscht, den der Auftragnehmer nicht theilt, soll bei geeigneter Aussentemperatur ein höchstens dreitägiger Probebetrieb stattfinden, zu dem der Auftragnehmer eigene Arbeiter zu stellen berechtigt ist.

Bei diesem Probebetriebe werden die Thermometer in den einzelnen Räumen 1,5 m vom Fussboden entfernt, entweder von der Decke herab in der Mitte der Räume oder in der Mitte einer neben einem geheizten Raume befindlichen Scheidewand aufgehängt und vor den Einflüssen der Wärmestrahlung vorhandener Heizkörper genügend geschützt.

Die Geschwindigkeit der einströmenden bezw. abströmenden Luft wird durch Messung mittels des Anemometers der Bauleitung festgestellt, dessen nachträgliche Aichung erfolgen soll, sofern die Richtigkeit der Ergebnisse von Seiten des Auftragnehmers angezweifelt wird. Die Kosten dieser Aichung trägt die Bauverwaltung, sofern das Anemometer unrichtige Luftgeschwindigkeiten angezeigt hat, anderenfalls der Auftragnehmer.

Die Temperaturbestimmung der Verbrennungsgase erfolgt durch ein hochgradiges Thermometer, für dessen Einsetzung in den Fuchs oder Schornstein der Auftragnehmer von Haus aus für jeden Heizapparat eine verschliessbare Hülse der Bauleitung behufs Einmauerung zu übergeben hat.

Die Feststellung des Feuchtigkeitsgehalts der Luft wird durch Schleuder-Psychrometer bewirkt.

Für Sicherstellung seiner Verpflichtungen hat der Auftragnehmer bei Abschluss des Vertrags 5 % der Anschlagssumme in baar oder kautionsfähigen Papieren zu hinterlegen, deren fällige Zinsscheine dem Auftragnehmer auf Wunsch auszuhändigen sind.

Machen sich nach der ersten Heizperiode Aenderungen oder Reparaturen nöthig, so soll die Bauleitung berechtigt sein, die Gewährszeit um ein Jahr hinauszuschieben und falls Mängel auch dann noch auftreten, diese auf Kosten des Auftragnehmers unter Verwendung der hinterlegten Gewährssumme durch eine andere Firma beseitigen zu lassen.

Alle Reparaturen sind ungesäumt vom Auftragnehmer auszuführen: kommt derselbe der diesbezüglichen schriftlichen Aufforderung innerhalb der für dieselben billig zu bemessenden Zeit nicht nach, so ist

Digitized by Google

die Bauleitung berechtigt, die Arbeiten auf Kosten des Auftragnehmers durch eine andere Firma herstellen zu lassen.

Dasselbe darf platzgreifen, sofern sofortige Reparaturen zur Sicherheit des Betriebes oder des Gebäudes erforderlich werden und der Auftragnehmer der Aufforderung zur Vornahme dieser Arbeiten, die geeignetenfalls auf telephonischem oder telegraphischem Wege zu geschehen hat, nicht ungesäumt nachkommt.

9. Abschlagszahlungen und Rechnungsaufstellung.

Abschlagszahlungen in $^7/_8$ der geleisteten Lieferungen und Arbeiten, jedoch nicht unter . . . . Mark, sollen dem Auftragnehmer auf seinen Antrag jederzeit gewährt werden. Auf die binnen 4 Wochen vom Tage der Uebernahme in doppelter Ausführung einzureichende Rechnung soll binnen 6 Wochen die Schlusszahlung des durch die Prüfung festgesetzten Betrags erfolgen.

Falls der Auftragnehmer einer rechtzeitigen Aufforderung, an der Aufmessung sich zu betheiligen, nicht nachkommt, so erfolgt dieselbe durch die Bauverwaltung allein und ist für die Rechnung massgebend.

Ergiebt die Endsumme der Rechnung einen höheren Betrag als diejenige des Kostenanschlags, so kommt nur die letztere zur Auszahlung, sofern bauliche Aenderungen eine Abweichung von dem Entwurfe nicht herbeigeführt haben.

II. Prüfung der Entwürfe von Lüftungs- und Heizungsanlagen.

Die gerechte Prüfung und der vorurtheilsfreie Vergleich der aus dem Wettbewerbe hervorgegangenen Arbeiten ist nur möglich, wenn denselben ein Programm in dem bereits besprochenen Sinne zu Grunde gelegen hat. Ist das nicht der Fall, so wird häufig seitens der Bewerber eine grosse Arbeit ganz unnöthig geleistet, denn wenn z. B. der Beurtheiler einzig und allein eine Niederdruck-Dampfheizung zulassen will, von fünf Entwürfen aber nur zwei dieses System angewendet haben, so sind drei vollkommen nutzlos geliefert und die Entschädigungen für dieselben ohne Vortheil für die Ausführung geleistet worden.

Die Prüfung von Entwürfen, die auf Grund eines richtig aufgestellten Programms entstanden sind, kann in gerechter Weise nur von einem Sachverständigen ausgeübt werden. Sie ist nicht einfach, weil ein Entwurf sich aus einer grossen Anzahl Theilen zusammensetzt, die meist in Abhängigkeit von einander stehen. Eine gute Lösung eines Theiles kann eine minderwerthige eines anderen Theils bedingen. Die Vorzüge und Nachtheile müssen daher einander gegen-

Digitized by Google

über gestellt werden, und ein jeder Theil ist in das richtige Verhältniss zur gesammten Anlage zu bringen. Eine Durchsicht und ein einfacher Vergleich der Entwürfe können häufig zu Ungerechtigkeiten führen, da es kaum möglich ist, im Geiste alle die Vorzüge und Nachtheile gegenwärtig zu behalten und mit einander abzuwägen.

Der Verfasser wendet daher, um jedes Uebersehen und Versehen auszuschliessen, und auch Anderen — dem Bauherrn und den Bewerbern — einen Einblick über die Art der Beurtheilung und die Werthschätzung der einzelnen gebotenen Lösungen zu verschaffen folgendes Verfahren an.

Nach Massgabe des Programms und nach Art der Aufgabe wird zunächst die ganze Anlage in einzelne Theile zerlegt und jeder Theil mit einer Ziffer bezeichnet, die den Werth desselben zur gesammten Anlage angiebt. Die durch die Bewerber gelieferten Lösungen eines jeden Theiles erhalten ebenfalls eine Werthziffer. Beide Ziffern werden mit einander multiplicirt und sämmtliche Produkte für jeden Bewerber gesondert addirt. Der Vergleich der so erhaltenen Summe lässt sofort diejenige Arbeit erkennen, die den Anschauungen des Beurtheilers am meisten entspricht. Sind mehrere Gebäude vorhanden, die als gleichwerthig nicht anzusehen sind, so wird auch die Anlage eines jeden derselben mit einer Werthziffer belegt und mit dieser noch die betreffende für das Gebäude erhaltene Summe multiplicirt. Alsdann ergiebt die Gesammtsumme der Produkte die beste Arbeit.

Ein Beispiel wird dieses Verfahren am besten klar stellen.

Es stehe eine Kirchenheizung und die Beheizung eines Pfarrhauses zum Wettbewerbe. Für die Erwärmung der Kirche ist Dauerbetrieb erforderlich, die Kesselanlage liegt auf dem Pfarrhausgrundstücke. Die Kirchenheizung stelle dem Heiztechniker eine ziemlich schwierige Aufgabe, während die Beheizung des Pfarrhauses keinerlei Schwierigkeit darbiete. Die Werthziffer für die Kirchenheizung werde daher von dem Beurtheiler mit 10, die der Pfarrhausheizung mit 1 in Ansatz gebracht.

Ein eingehendes Programm schreibe vor, dass für die Kirche und für das Pfarrhaus Niederdruck-Dampfheizung gewählt und die Kesselanlage für beide Gebäude eine gemeinschaftliche werden solle.

Nach Massgabe der im Programme gestellten Forderungen und nach Massgabe der eigenartigen Ausführung einer Niederdruck-Dampfheizung hat nun der Beurtheiler die Aufstellung der wichtigsten Theile der Anlagen zu bewirken, und die Werthziffer für einen jeden zu bestimmen. Alle feststehenden Forderungen, wie z. B. die höchste zulässige Dampfspannung in den Kesseln, die Temperaturen in den Räumen u. s. w. entfallen bei der Aufstellung, nur die Erzielung der Forderungen kommt in Betracht, so dass eine jede Anlage eine eigenartige Aufstellung nöthig macht. Es sollen an dem vorliegenden Wettbewerbe die drei Firmen A, B und C betheiligt sein. Alles Uebrige geht aus der folgenden Aufstellung hervor.

Digitized by Google

Aufstellung

über die Werthschätzung der aus dem Wettbewerbe über die Heizungsanlage für die Kirche und das Pfarrhaus zu ..... hervorgegangenen Angaben.

Von den Einzelzensuren bedeutet:

0 unbrauchbar oder nicht vorhanden, 1 und 2 kaum genügend, 3 und 4 genügend, 5 und 6 ziemlich gut, 7 und 8 gut, 9 recht gut, 10 vorzüglich.

No.	Gegenstand der Beurtheilung	Werthziffer des Gegenstands	Einzelzensur A	B	C	Gesammtzensur A	B	C
	A) Heizungsanlage der Kirche.							
1	Kesselanlage							
	Konstruktion in Bezug auf:							
	Sicherheit und Haltbarkeit	8	5	7	8	40	56	64
	Bedienung	4	6	5	7	24	20	28
	Ausnützung des Brennmaterials . .	7	3	5	6	21	35	42
	Anzahl der Kessel unter Berücksichtigung der Oekonomie	6	0	8	5	0	48	30
	Anordnung der Kessel	3	7	5	8	21	15	24
	Konstruktion der Verbrennungsregler .	4	7	5	6	28	20	24
2	Rohrleitung							
	Anordnung	8	1	5	7	8	40	56
	Ausführung	6	5	7	8	30	42	48
	Schutz vor Wärmeverlusten	4	8	7	9	32	28	36
3	Heizkörper							
	Konstruktion der gewählten Heizkörper	6	4	7	8	24	42	48
	Regelung der Wärme-Abgabe der einzelnen Heizkörper	4	5	8	7	20	32	28
	Gruppenweise Betriebsausschaltung der Heizkörper	5	0	2	8	0	10	40
	Anordnung der Heizkörper in Bezug auf Sicherheit und Gleichmässigkeit der Erwärmung der Kirche in horizontaler und vertikaler Beziehung	6	4	5	9	24	30	54
	Vermeidung von Zugerscheinungen von den Fenstern und Wänden .	8	5	7	8	40	56	64
4	Vorkehrungen zur Sicherheit gegen Zugerscheinungen beim Oeffnen der Kirchenthüren	8	0	4	9	0	32	72
5	Berechnung der Anlage	8	2	6	8	16	48	64
			Summa . .			328	554	722
	B) Heizung des Pfarrhauses.							
1	Rohrleitung							
	Anordnung	4	5	7	6	20	28	24
	Ausführung	6	7	8	7	42	48	42
	Schutz vor Wärmeverlusten	2	8	7	9	16	14	18
2	Heizkörper							
	Anordnung	5	6	7	5	30	35	25
	Wärmeregelung	5	5	8	7	25	40	35
3	Berechnung der Anlage	8	2	6	8	16	48	64
			Summa . .			149	213	208

Digitized by Google

Die Werthschätzung der Kirchenheizung hat die Zahlen 328, 544, 722, diejenige der Pfarrhausheizung die Zahlen 149, 213, 208 ergeben, da, wie bereits erwähnt, die Wichtigkeit und Schwierigkeit der Anlagen wie 10 : 1 anzunehmen ist, so ergiebt sich als Endergebniss für die

Firma A: $10 \times 328 + 149 = 3429$,
Firma B: $10 \times 544 + 213 = 5653$,
Firma C: $10 \times 722 + 208 = 7428$,

somit hat die letzte Firma die beste Arbeit geliefert und ist mit der Ausführung zu betrauen.

Neunzehntes Kapitel.

Prüfung von Anlagen.

I. Lüftungsanlagen.

Die Prüfung von Lüftungsanlagen erstreckt sich der Hauptsache nach auf Bestimmung des Kohlensäuregehalts der Luft in den gelüfteten Räumen, auf Messung der Luftgeschwindigkeit in den Kanälen, auf Feststellung der Temperaturen in den Räumen, sofern eine höchste zulässige Temperatur vorgeschrieben worden ist, und auf Untersuchung des Feuchtigkeitsgehalts.

a) Bestimmung des Kohlensäuregehalts. Für dieselbe giebt es eine ganze Anzahl von Methoden, von denen die von Pettenkofer'sche und für schnellere Bestimmung die Lunge'sche zu empfehlen ist. Auf die Beschreibung dieser und der anderen Methoden soll hier nicht näher eingegangen und kann bezüglich derselben auf die Abhandlung von Bitter, Zeitschrift für Hygiene, Bd. IX, 1890 verwiesen werden.

Es ist wünschenswerth, wenn nach etwa einjähriger Benutzung eines mit einer Lüftungsanlage versehenen Gebäudes eine einmalige Prüfung des Lüftungseffekts durch Kohlensäurebestimmung bei vorschriftsmässiger Besetzung der Räume stattfindet. Für gering besetzte Räume genügt im allgemeinen die Feststellung des stündlichen Luftwechsels.

b) Messung der Luftgeschwindigkeit. Da es meist nicht auf die Bestimmung der Luftmenge für das ganze Gebäude, sondern auf diejenige für einen jeden einzelnen Raum ankommt, so sind die Messungen in den einzelnen Zu- und Abluftkanälen oder da dies meist schwer angängig ist, an den Mündungen dieser Kanäle in den betreffenden Räumen vorzunehmen. Die Messungen werden in der Praxis mit Hilfe von Anemometern, d. h. mittels eines durch den Luftstrom in Bewegung gesetzten Flügelrädchens bewirkt.

Digitized by Google

Die Geschwindigkeit der Luft in dem Querschnitte eines Kanals ist eine nicht durchweg gleichmässige, und besonders ist dieselbe bei einer um einen rechten Winkel zur Kanal-Achse liegenden Ein- oder Austrittsöffnung eine sehr verschiedene. Um die mittlere Geschwindigkeit der Luft zu erhalten, müsste man eigentlich zu gleicher Zeit an einer grösseren Anzahl Stellen des Querschnitts oder der Mündung des Kanals Messungen anstellen, doch würde dies sehr umständlich sein und nicht zu unterschätzende Widerstände für die Luftbewegung hervorrufen.

Am besten ist es, mit einem Anemometer unter gleichmässiger beständiger oder in gewissen kurzen und gleichen Zeitabschnitten bewirkten Verschiebung des Instruments in dem Kanalquerschnitte oder an den Mündungen die Messungen zu bewirken.

Die an den Mündungen der Kanäle befindlichen Gitter sind bei den Messungen nicht zu beseitigen.

Die Anemometer müssen in Zeitabschnitten auf ihre Richtigkeit entweder unmittelbar vor oder nach den Versuchen geprüft und die Ergebnisse mit Hilfe der durch die Prüfung gefundenen Gleichung bestimmt werden.

Meistens findet die Prüfung der Anemometer in einem freien Luftstrome statt und sind dieselben auch dann nur für einen solchen zu verwenden. Werden dieselben in ein Rohr eingesetzt, das gerade das Flügelrad begrenzt, so zeigen sie nach Versuchen des Verfassers durchaus andere Werthe. Es ist auf diesen Umstand besonders aufmerksam zu machen.

Um die Luftbewegung im Raume sichtbar zu machen, ist das Verbrennen von Schiesspulver im Zuluftkanale am Fusse desselben zu empfehlen. Zugerscheinungen, die durch unliebsame Richtungsänderung der Luft infolge Anprall an irgend einen Körper (Unterzug u. s. w.) leicht hervorgebracht werden können, finden hierdurch häufig die gewünschte Erklärung und durch Ablenkung der einströmenden Luft meist die erforderliche Beseitigung.

c) Feststellung der Temperatur in den Räumen. Die gewöhnlichen Zimmerthermometer sind im Allgemeinen für Messungen nicht zu empfehlen. Stehen keine anderen zur Verfügung, so muss man vor oder nach Benutzung derselben ihre Fehler durch Vergleich mit einem Normal-Thermometer in einem grossen Gefässe mit Wasser von der Temperatur des Raumes feststellen.

Der Ort, wo die Thermometer aufgehängt werden, ist von grosser Wichtigkeit. Am besten ist es, eine Anzahl Thermometer anzuwenden, doch genügt im Allgemeinen bei Abnahme von Anlagen, die Temperatur 1,5 m vom Fussboden in der Mitte des Raumes durch ein von der Decke herabhängendes Thermometer zu messen. Ist dies nicht angängig, dann muss das Thermometer in der Mitte einer Scheidewand, deren andere Seite von einem beheizten Raume begrenzt wird,

Digitized by Google

mit etwa 1 bis 2 cm Abstand aufgehängt werden. Naturgemäss ist das Thermometer vor der strahlenden Wärme eines etwa vorhandenen Heizkörpers zu schützen.

Bei genauen Messungen der Temperaturverhältnisse in einem Raume empfiehlt sich die Anordnung einer grösseren Anzahl Thermometer, von denen immer eines über Fussboden, eines in Kopfhöhe und eines unter der Decke in senkrechter Richtung sich befinden soll. Für mittelgrosse Räume sind alsdann schon etwa 9 derartige Anordnungen, also 27 Thermometer erforderlich.

d) Untersuchung des Feuchtigkeitsgehalts. Besteht die Vorschrift über Einhaltung eines bestimmten Feuchtigkeitsgehalts in den Räumen, so hat dieselbe den Zweck, die Anwesenden vor zu grosser Feuchtigkeitsentziehung zu schützen. Da die Anwesenden umsomehr Feuchtigkeit abgeben, je grösser das Sättigungsdeficit der sie umgebenden Luft ist, so zeigen in der Regel die Messinstrumente bei voller Besetzung der Räume einen genügenden Feuchtigkeitsgehalt. Es ist daher bei der Untersuchung des Feuchtigkeitsgehaltes, den die Anlage hervorzurufen hat, angezeigt, in unbenutztem Zustande der Räume bei voller Lüftung die Messungen vorzunehmen.

Die in der Praxis angewandten Hygrometer, von denen dasjenige von Saussure mit Koppe'scher Justirung am meisten zu empfehlen ist, bedürfen alle für ihre jeweilige Einstellung einer gewissen Zeit und ausserdem öfterer Justirung; Psychrometer, in einfachster Form Schleuder-Psychrometer, sind daher als geeignetere Instrumente für Prüfungszwecke zu empfehlen.

II. Heizungsanlagen.

Die Prüfung der Heizungsanlagen in der Praxis beschränkt sich — abgesehen von der gesammten technischen Ausführung — hauptsächlich nur auf die Erzielung der vorgeschriebenen Temperaturen und, soweit eine Luftheizung in Frage steht, noch auf die Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes. In Bezug auf diese Untersuchungen ist auf das bei den Lüftungsanlagen Gesagte zu verweisen.

Dringend wünschenswerth ist es jedoch, die Prüfung auch auf die Temperatur der abziehenden Rauchgase auszudehnen.

Vielfach muss in der Praxis der Auftragnehmer für den Brennmaterial-Verbrauch der von ihm gelieferten Heizungsanlage Gewähr übernehmen — eine Zumuthung, die auf einer durchaus unrichtigen Anschauungsweise beruht. Einmal sind die Temperatur-Verhältnisse in jedem Jahre andere, dann aber hängt der Verbrauch an Brennmaterial wesentlich mit von der Bedienung der Anlage ab.

Für die Bedienung kann der Auftragnehmer nicht aufkommen, wohl aber für die Wirkung der von ihm gelieferten Feuerungsanlagen,

Digitized by Google

d. h. für die Temperatur der abziehenden Verbrennungsgase bei dem höchsten Wärme-Erfordernisse.

Bei kleinen Heizapparaten müssen die Heizgase mit hoher Temperatur entweichen, damit die erforderliche Wärme-Aufnahme stattfindet, bei grossen Heizapparaten, die freilich theurer sind, findet eine bessere Ausnutzung des Brennmaterials statt. Es sollte daher jederzeit die höchste zulässige Temperatur der abziehenden Verbrennungsgase vorgeschrieben und später durch Messung festgestellt werden.

Zu dieser Bestimmung ist ein hochgradiges Thermometer mit Stickstofffüllung zu verwenden, das durch eine bei jeder Feuerungsanlage vorzusehende eingemauerte und verschliessbare Hülse in den Schornstein bezw. Fuchs eingelassen werden kann. Im Allgemeinen wird im Beharrungszustande die Temperatur der abziehenden Verbrennungsgase, sofern der Schornstein in nächster Nähe der Feuerungsanlage sich befindet, etwa 100° C. höher als die Temperatur der erwärmten Flüssigkeit anzunehmen sein. Für das Anheizen, sowie bei weit abliegendem Schornsteine ist für die Temperatur der Rauchgase etwa 300° C. zu gestatten.

Zum Nachweise, dass der geforderte Effekt einer Anlage erreicht werden wird, findet in der Regel eine Probeheizung statt. Selten wird bei dieser die niedrigste Aussentemperatur herrschen, die der Berechnung der Anlage zu Grunde gelegt worden ist, man wird somit berechtigt sein, bei der Probeheizung eine der herrschenden Aussentemperatur entsprechende höhere Temperatur in den erwärmten Räumen zu fordern. Fehlerhaft würde es jedoch sein, die Temperatur in den Räumen um die gleiche Anzahl Grade höher zu verlangen, als die jeweilige Aussentemperatur über der niedrigsten Aussentemperatur gelegen ist.

Bezeichnet man mit $\Sigma(Fk)$ die Wärmemenge, die durch Transmission der Umflächen eines Raumes stündlich für einen Grad Temperaturunterschied zwischen innen und aussen verloren geht, mit $\Sigma(F_1 k_1)$ diejenige, die der Heizkörper abgiebt, so muss sein, wenn t die Innentemperatur, t_0 die Aussentemperatur, t_m die mittlere Temperatur des Heizkörpers bedeutet:

$$\Sigma(Fk)(t - t_0) = \Sigma(F_1 k_1)(t_m - t).$$

Man kann, ohne einen einflussreichen Fehler zu begehen, annehmen, dass Fk und zunächst $F_1 k_1$ konstante Grössen sind, so dass also aus vorstehendem Ausdrucke t berechnet werden kann. Es ergiebt sich aus demselben:

$$t = \frac{\Sigma(F_1 k_1) t_m + \Sigma(Fk) t_0}{\Sigma(Fk) + \Sigma(F_1 k_1)}.$$

Da nun k_1 entsprechend der Tabelle 13 mit Abnahme der Tem-

Digitized by Google

peraturunterschiede zwischen Heizkörper und Luft ebenfalls abnimmt, so erniedrigt sich, wenigstens bei einigermassen hoher Aussentemperatur, die berechnete Raumtemperatur. Man hat also für die herrschende Aussentemperatur alsdann unter Annahme der berechneten Raumtemperatur $\Sigma(F_1 k_1)$ zu bestimmen und die Rechnung zu wiederholen. Ein Beispiel wird dies noch näher erläutern.

Beispiel. Es soll die Abnahme einer Warmwasserheizung bei einer Aussentemperatur von $+10^0$ stattfinden. Die Heizkörper der Anlage sind schmiedeeiserne Plattenheizkörper, die Temperatur des Wassers bei Eintritt in dieselben beträgt 90^0, bei Austritt aus denselben 70^0, die mittlere Temperatur somit 80^0. Da alle Heizkörper die gleiche Konstruktion aufweisen, so kann zur Bestimmung der Temperatur, auf welche die Räume erwärmt werden müssen, ein einzelner Raum herausgegriffen werden. Dieser Raum transmittirt bei einer Innentemperatur von $+20^0$, einer Aussentemperatur von -20^0 eine Wärmemenge von 6000 *WE* stündlich, somit muss sein:

$$\Sigma(Fk)(t - t_0) = 6000 \quad \text{und} \quad \Sigma(F_1 k_1)(t_m - t) = 6000,$$

woraus nach Einsetzung der Temperaturen folgt:

$$\Sigma(Fk) = \frac{6000}{20 - (-20)} = 150 \quad \text{und} \quad \Sigma(F_1 k_1) = \frac{6000}{80 - 20} = 100.$$

Da bei 80^0 Wassertemperatur und 20^0 Lufttemperatur der Transmissionskoefficient für Plattenheizkörper nach Tabelle 13: $k_1 = 8{,}5$ beträgt, muss $F_1 = \frac{100}{8{,}5} = 11{,}76$ qm gross sein.

Es berechnet sich also die Raumtemperatur zu:

$$t = \frac{100 \cdot 80 + 150\, t_0}{150 + 100},$$

und da für die Probeheizung $t_0 = +10$ sein soll:

$$t = \frac{8000 + 1500}{250} = 38^0.$$

Die Heizkörpertemperatur beträgt 80^0, der Unterschied zwischen dieser und der Lufttemperatur $80 - 38 = 42^0$; für diese stellt sich nach Tabelle 13 der Koefficient $k_1 = 8$. Da $F_1 = 11{,}76$ qm ist, so wird somit:

$$F_1 k_1 = 11{,}76 \cdot 8 = 94{,}08$$

und ergiebt sich dann unter Einsetzung des Werthes:

$$t = \frac{94{,}08 \cdot 80 + 1500}{150 + 94{,}08} \sim 37^0.$$

Der Temperaturunterschied zwischen innen und aussen ist also in diesem Falle zu 27^0, anstatt wie bei der niedrigsten Aussentemperatur zu 40^0 anzunehmen. Selbstverständlich setzt die Berechnungsweise den Beharrungszustand der Transmission des Raumes voraus, die berechnete Temperatur wird also noch etwas herunter zu setzen sein, wenn z. B. bislang eine niedrige Aussentemperatur geherrscht hat, am Tage der Probeheizung aber ein Umschlag der Witterung eingetreten ist, somit die Wände noch eine geringere Temperatur besitzen, als der nach der herrschenden Aussentemperatur anzunehmenden Transmission entspricht.

Digitized by Google

Anhang.

Digitized by Google

Digitized by Google

I. Anweisung

zur Herstellung und Unterhaltung von Centralheizungs- und Lüftungsanlagen in den unter Staatsverwaltung stehenden Gebäuden Preussens.

---

§ 1. Vorbereitungs-Arbeiten.

1. Für Gebäude, die Centralheizungs- und Lüftungsanlagen erhalten sollen, ist schon bei Vorlage des allgemeinen Bauentwurfes im Erläuterungsberichte anzugeben, welche Heizungs- und Lüftungsart nach den örtlichen Verhältnissen und nach der Zweckbestimmung des Gebäudes am geeignetsten erscheint.

2. Bei Ausarbeitung des ausführlichen Bauentwurfes und Kostenanschlages sind die Heizungs- und Lüftungsanlagen in folgender Art zu berücksichtigen:

a) in den Grundrissen sind die Räume zu bezeichnen, die zur Unterbringung der Wärme-Entwickler und der Brennstoffe verfügbar sind, sowie die Stellen anzugeben, an denen Rauchrohre und Luftkanäle angelegt werden können.

b) im Erläuterungsberichte ist die Heizungsart anzugeben und kurz zu begründen.

c) im Kostenanschlage ist der erforderliche Geldbetrag überschläglich nach dem kubischen Inhalte der zu heizenden Räume auf Grund der im Centralblatt der Bauverwaltung veröffentlichten statistischen Angaben unter Berücksichtigung der zur Zeit herrschenden Preislage zu ermitteln. Hierbei ist auf etwaige besondere Lüftungsanlagen Rücksicht zu nehmen.

3. Zugleich ist für alle mit der Herstellung verbundenen Nebenarbeiten ein entsprechender Procentsatz der überschläglich berechneten Kosten der Heizanlage in Tit. XV. einzusetzen.

4. Ferner ist ein Betrag zur Entschädigung von Bewerbern, deren Heizentwürfe nicht zur Ausführung gewählt werden können, jedoch in Einzelheiten verwerthbar sind, im Titel insgemein vorzusehen.

5. Sobald der Auftrag zur Vorbereitung der Bauausführung ertheilt ist, hat die Bauverwaltung nach Anleitung der Anlage A und den Mustern der Anlagen B und C das Programm und die besonderen Bedingungen aufzustellen. ——Anl. A. ——Anl. B. ——Anl. C.

6. Die vorgesetzte Dienstbehörde (vergl. § 8) hat diese Ausarbeitungen zu prüfen und mir, bei Bauten für die Gestüt-, Domänen- und Forstverwaltung dem Herrn Minister für Landwirthschaft, Domänen und Forsten, zur Genehmigung vorzulegen. Gleichzeitig sind Abdrucke der Bauzeichnungen einzureichen, die anschlagsmässig zur Verfügung stehenden Mittel anzugeben und Vorschläge über die zum Wettbewerbe (§ 2) heranzuziehenden Unternehmer zu machen.

7. Nach Genehmigung des Programmes ist die Berechnung der stündlichen Wärmeverluste nach dem Muster der Anlage D einer Heizungsfirma gegen Entgelt zu übertragen. ——Anl. D. Von dieser Berechnung sind die Angaben in den Spalten 1—5 unter Zugrundelegung der Bauzeichnungen und des Programmes von der Bauverwaltung endgiltig zu prüfen.

Digitized by Google

8. Hierauf hat letztere ungesäumt unter Beachtung der Prüfungsbemerkungen den Wettbewerb einzuleiten. Diese Massnahmen sind so frühzeitig zu treffen, dass die Prüfung und Feststellung der Angebote noch vor Beginn der von den Heizungs- und Lüftungsanlagen abhängigen Maurerarbeiten erfolgen kann.

§ 2. Verdingung der Ausführung.

a) Ausschreibung.

1. Die Verdingung der Ausführung soll auf Grund eines Wettbewerbes erfolgen, zu dem bei Anlagen im voraussichtlichen Kostenbetrage unter 20000 Mark bis zu drei, bei grösseren Anlagen drei bis fünf geeignete Unternehmer aufzufordern sind.

2. Als Unterlage dienen das Programm, die Zeichnungen und die Berechnung der Wärmeverluste. Ausserdem sind die Bedingungen für die Bewerbung um Arbeiten und Lieferungen vom 17. Juli 1885 und die allgemeinen Vertragsbedingungen für die Ausführung von Staatsbauten vom 17. Januar 1900, sowie die besonderen Bedingungen zu Grunde zu legen.

3. Die Zeichnungen sind den Bewerbern in doppelter Ausfertigung zu verabfolgen. Lichtpausen mit weissen Linien auf blauem Grunde sind unzulässig.

4. Für Anfertigung der Entwürfe sind angemessene Fristen zu setzen.

b) Prüfung der Angebote.

5. Die eingegangenen Angebote nebst den zugehörigen Berechnungen sind von der Bauverwaltung technisch und rechnerisch zu prüfen. Nachdem festgestellt ist, wie weit die einzelnen Entwürfe den Forderungen des Programmes entsprechen, bleibt zu ermitteln, welches Angebot das für die Staatsverwaltung annehmbarste ist.

Anl. E. 6. Zu diesem Zwecke sind in einer Tabelle nach dem Muster der Anlage E alle wesentlichen Theile der Anlage nach Grösse, Beschaffenheit und Kosten zusammenzustellen.

7. Sämmtliche Unterlagen sind sodann mit dem superrevidirten Programme und einer Abschrift der die Heizung betreffenden Positionen des Kostenanschlages der vorgesetzten Dienstbehörde (§ 8) vorzulegen, wobei die Ertheilung des Zuschlages an einen der Bewerber mit etwaigen Abänderungs- und Ergänzungsvorschlägen zu beantragen und zu begründen ist.

8. Zugleich sind für die etwa zu gewährenden Entschädigungen (§ 1) Vorschläge zu machen.

9. Nach Prüfung der Entwürfe und Berechnungen ertheilt die vorgesetzte Dienstbehörde, sofern die Kosten der Anlage den Betrag von 30000 Mark nicht erreichen, ihrerseits den Zuschlag und erstattet hierüber der Ministerial-Instanz unter Einreichung der Tabelle (Anlage E) über die wesentlichsten Theile und die Kosten Anzeige.

10. Bei höheren Kostensummen jedoch, sowie unabhängig von den Kosten in allen Fällen, in denen besondere Schwierigkeiten vorliegen oder bisher nicht erprobte Konstruktionen zur Anwendung kommen sollen, bleibt die Entscheidung der Ministerial-Instanz vorbehalten.

c) Abschluss des Vertrages.

11. Mit dem ausgewählten Unternehmer ist zunächst der Entwurf und die Kostenberechnung für die Ausführung endgültig festzustellen und sodann ein Vertrag in doppelter Ausfertigung abzuschliessen.

12. Der Hauptausfertigung des Vertrages sind beizufügen: die allgemeinen Vertragsbedingungen vom 17. Januar 1900, die besonderen Bedingungen, die Berechnungen der Wärmeverluste, das Programm, sowie die Zeichnungen, das An-

Digitized by Google

gebot und die zugehörigen Erläuterungen des Unternehmers mit den etwa erforderlich gewordenen Ergänzungen oder Abänderungen. Diese Schriftstücke und Zeichnungen sind durch beiderseitige Unterschrift als zum Vertrage gehörig anzuerkennen.

13. Für die Nebenausfertigung genügen das Programm, die besonderen Bedingungen, das Angebot und die Berechnung der Wärmeverluste.

§ 3. Ausführung und Abnahme.

Der Unternehmer hat mit der Ausführung der Heizanlage auf der Baustelle binnen der in den besonderen Bedingungen festgestellten Frist zu beginnen, sobald er von der Bauverwaltung durch eingeschriebenen Brief dazu aufgefordert ist. Von etwaigen bei der Prüfung erfolgten Aenderungen des Entwurfs ist dem Unternehmer bei Ertheilung des Zuschlages Kenntniss zu geben. Sobald die Ausführung beendet ist, hat die Bauverwaltung die Anlage in allen Theilen zu prüfen und festzustellen, ob die Vertragsbedingungen erfüllt, oder noch Aenderungen und Nacharbeiten seitens des Unternehmers zu bewirken sind. (Vergl. IV. 1. der Anlage A.)

§ 4. Uebergabe an die nutzniessende Behörde.

1. Für die Uebergabe des Gebäudes an die nutzniessende Behörde (§ 213 der Dienstanweisung für die Lokalbaubeamten der Staatshochbauverwaltung) hat der Baubeamte nach dem Muster der Anlage F eine Beschreibung und Betriebsvorschrift auf Grund der in der Anlage A unter IV. 2. erwähnten Vorschläge des Unternehmers auszuarbeiten. Zu diesem Zwecke hat der Baubeamte diese Vorschläge zu prüfen, durch Bestimmungen über regelmässige Temperatur-Beobachtungen, Buchung des Brennstoff-Verbrauches u. dergl. zu ergänzen und diese Ausarbeitungen alsdann der vorgesetzten Dienstbehörde einzureichen. Anl. F.

2. Die ergänzte Betriebsvorschrift ist von der ausführenden Firma durch Unterschrift anzuerkennen. Auch sind von ihr die der Ausführung entsprechenden Zeichnungen der Anlage zu liefern. Bei Wasserheizungen und Dampfheizungen sind die Rohrleitungen schematisch in die Zeichnungen einzutragen.

3. In den unter § 2. b. am Schlusse bezeichneten Fällen ist die Betriebsvorschrift mit den Zeichnungen der Ministerial-Instanz zur Prüfung vorzulegen.

4. Es ist dafür Sorge zu tragen, dass diese Betriebsvorschrift spätestens bis zum Tage der Uebergabe des Gebäudes endgültig festgestellt ist.

§ 5. Eintragung in die Inventarienzeichnungen.

1. Die Heizanlage ist der Ausführung entsprechend mit den wichtigsten Einzelheiten von der Bauverwaltung in die Inventarienzeichnungen (§ 245 der Dienstanweisung) unter Beischrift kurzer Erläuterungen am Rande der Zeichnungen einzutragen.

2. Der bei der Bauinspektion verbleibenden Ausfertigung sind Einzelzeichnungen der Wärme-Entwickler, Heizkörper und sonstiger wichtiger Theile der Anlage beizufügen.

§ 6. Ueberwachung der Heizungs- und Lüftungsanlage.

a) Ueberwachung durch den Baubeamten.

1. Der Baubeamte hat während jeder Heizperiode mindestens einmal die Heizungs- und Lüftungsanlage einer eingehenden Besichtigung zu unterziehen und von der Art des Betriebes Kenntniss zu nehmen. Von dem Zeitpunkte der Besichtigungen ist die vorgesetzte Dienstbehörde rechtzeitig in Kenntniss zu setzen, um ihrem technischen Referenten Gelegenheit zur Theilnahme zu geben.

Digitized by Google

2. Bei Besichtigungen innerhalb der Gewährleistungszeit ist festzustellen, ob die Anlage durchweg den vertragsmässigen Anforderungen unter Berücksichtigung der Benutzungsart und etwaiger äusserer Umstände, welche die Wirkung der Heizung und Lüftung beeinflussen, entspricht oder ob etwa Aenderungen und Ergänzungen auf Kosten des Unternehmers veranlasst werden müssen.

3. Bei den Besichtigungen nach Ablauf der Gewährleistungszeit ist festzustellen, ob und welche Ausbesserungs- und Ergänzungsarbeiten im Laufe des Sommers zur Ausführung gelangen müssen, um die Anlage betriebsfähig zu erhalten. Sind diese Arbeiten von solcher Bedeutung, dass eine Ueberwachung durch den Baubeamten nothwendig ist, hat dieser der vorgesetzten Dienstbehörde zu berichten. In allen dringenden Fällen, namentlich wenn Gefahr im Verzuge ist, hat der Baubeamte sofort die nöthigen Anordnungen zu treffen und hiervon auch der nutzniessenden Behörde Mittheilung zu machen.

4. Im Uebrigen hat der Baubeamte dauernd darauf zu achten, dass die Kosten des regelmässigen Betriebes namentlich auch durch die Wahl geeigneter Brennstoffe sich in angemessenen wirthschaftlichen Grenzen halten. Zu diesem Zwecke ist er bei der Verdingung des Bedarfes an Kohlen und sonstigen Brennstoffen insoweit mitzuwirken verpflichtet, als er auf Ersuchen der nutzniessenden Behörde über die eingegangenen Lieferungsangebote nebst den vorgelegten Proben ein Gutachten abzugeben und seine Vorschläge bezüglich des annehmbarsten Angebotes der genannten Behörde mitzutheilen hat.

5. Der Baubeamte ist verpflichtet, die Befähigung und Thätigkeit der Heizer zu überwachen und im Falle von etwaigen Ungehörigkeiten der nutzniessenden Behörde Mittheilung zu machen.

b) Ueberwachung durch die nutzniessende Behörde.

6. Damit die Wirkung der Heizungs- und Lüftungsanlagen mit Sicherheit beurtheilt werden kann, ist es nothwendig, dass die nutzniessende Behörde nach Anweisung des zuständigen Ministers durch ihre Beamten wöchentlich einmal vor Beginn der Dienststunden die Temperatur in allen von der Centralheizung erwärmten Räumen und die äussere Temperatur in Graden Celsius messen und in eine Liste
Anl. G. nach dem Muster der Anlage G eintragen lässt. Falls in den Gebäuden eine Anzahl gleichartiger und gleichliegender Räume vorhanden ist, können diese Messungen auf einzelne dieser Räume beschränkt werden.

7. Der Verbrauch an Brennstoffen ist dauernd in prüfungsfähiger Weise zu buchen. Die Kosten dafür sind unter Angabe der Einheitspreise für die ganze Heizperiode zu ermitteln. Ferner sind zur Ermittelung der Unterhaltungskosten
Anl. H. alle Instandsetzungs- und Erneuerungs-Arbeiten nach dem Muster der Anlage H zu buchen.

8. Diese Aufzeichnungen über Wärmemessungen, Brennstoffverbrauch, Unterhaltungs- und Betriebskosten werden durch die nutzniessende Behörde dem Baubeamten mitgetheilt.

9. Das Heizerpersonal ist zu verpflichten, dem Baubeamten jede Auskunft zu geben und nach seinen Anweisungen bei der Behandlung der Heizanlage zu verfahren. Falls ein besonderer Heizingenieur angestellt ist, hat der Baubeamte sich mit diesem in Benehmen zu setzen.

§ 7. Statistische Nachweisungen.

1. Thunlichst unmittelbar nach Ausführung der Heizungs- und Lüftungsanlagen ist, sobald die Ausführungskosten sich mit annähernder Sicherheit übersehen
Anl. J. lassen, nach der Anlage J eine einmalige Nachweisung durch den Baubeamten auszuarbeiten und nach Prüfung seitens der vorgesetzten Dienstbehörde mir einzureichen.

Digitized by Google

2. Weiterhin ist bis zum Ablaufe der Gewährleistungszeit jährlich eine Nachweisung nach der Anlage K über die Betriebsergebnisse auszuarbeiten und nach Prüfung seitens der vorgesetzten Dienstbehörde spätestens bis zum 1. November mir einzureichen. Anl. K.

§ 8. Geltungsbereich.

1. Die vorstehenden Bestimmungen sind bei allen Bauten, deren Ausführung oder Ueberwachung der Staatsbauverwaltung bestimmungsgemäss obliegt, anzuwenden, gleichviel ob die Kosten ganz oder theilweise aus Staatsfonds gedeckt werden, desgleichen für solche Bauten, deren Kosten aus Stiftungsfonds, die unter Staatsverwaltung stehen, getragen werden.

2. Als vorgesetzte Dienstbehörden gelten bei Universitätsbauten der Kurator, bei allen übrigen Bauten, mit Ausnahme der Bauten der Eisenbahnverwaltung, der Regierungs-Präsident.

3. Für Kirchen, Pfarr- und Schulbauten, zu denen aus dem Patronatsbaufonds oder dem Allerhöchsten Dispositionsfonds bei der General-Staatskasse Beiträge gewährt werden, wird die Anwendung der Bestimmungen nicht unbedingt gefordert, aber insoweit empfohlen, als die Umstände des einzelnen Falles es gestatten.

4. Mit dieser Massgabe gelten die Bestimmungen für alle neu auszuführenden Anlagen, während die im § 6a vorgeschriebenen regelmässigen Besichtigungen auch bei allen älteren Anlagen vorzunehmen sind.

5. Auf die Staatseisenbahnverwaltung finden die Bestimmungen in den §§ 1 bis 7 insoweit Anwendung, als sich nicht nach der Verwaltungsordnung und den bestehenden Buchungs- und Rechnungsvorschriften Abweichungen ergeben. Im Einzelnen treten folgende Aenderungen ein:

a) Die Aufwendungen gemäss § 1 Abs. 4 und 7 sind bei Bauausführungen zu Lasten extraordinärer Baufonds der Verwaltungskosten zu behandeln und demgemäss auf den Betriebsfonds zu verrechnen.

b) Das Programm und die besonderen Bedingungen (§ 1 Abs. 6) sind mir nur für Heizungs- und Lüftungs-Anlagen, bei denen die Anschlagssumme mehr als 30 000 Mark beträgt, zur Genehmigung vorzulegen.

c) Der im § 2 Abs. 9 vorgeschriebenen Anzeige an mich bedarf es nur bei Anlagen, deren Kosten mehr als 30000 Mark betragen.

d) Die Vorschrift im § 5 gilt mit der Massgabe, dass die Heizanlage in die Entwurfszeichnung einzutragen ist und die angegebenen Einzelzeichnungen aufzubewahren sind.

e) Die Ueberwachung der Anlage gemäss § 6a ist lediglich Sache des Vorstandes der Betriebsinspektion. Die Vorschriften unter a Abs. 4 2. Satz und unter b kommen in Fortfall.

f) Die im § 7 vorgeschriebenen Nachweisungen sind nur auf besondere diesseitige Anweisung aufzustellen.

g) Auf Werkstattsanlagen finden die Vorschriften keine Anwendung.

Berlin, den 24. März 1901.

Der Minister der öffentlichen Arbeiten.

von Thielen.

Digitized by Google

Anleitung

zum Entwerfen und Verdingen von Centralheizungs- und Lüftungs-Anlagen.

(Zur Anweisung vom 24. März 1901.)

I. Ausarbeitungen der Bauverwaltung.

Als Unterlagen für den Wettbewerb sind anzufertigen: Abdrucke der Bauzeichnungen, das Programm, die besonderen Bedingungen und die Berechnung der Wärmeverluste.

In den Zeichnungen sind darzustellen:

a) die Lage des Gebäudes und seine Umgebungen unter Angabe der Nordlinie,

b) die mit Raumbezeichnungen und Nummern, sowie mit Längen- und Flächenmafsen versehenen Grundrisse aller Geschosse,

c) die wesentlichsten Durchschnitte, darunter ein Schnitt durch den Heizraum, mit Angabe des höchsten Grundwasserstandes.

Aus den Grundrissen und Schnitten muss ersichtlich sein, ob Nischen in den Fensterbrüstungen angelegt werden sollen.

Wenn verschiedene Heizungsarten in einem Gebäude zur Anwendung kommen, sind in den Grundrissen die Raumbezeichnungen in folgenden Farben zu unterstreichen: bei Luftheizung grün, bei Heisswasserheizung roth, bei Warmwasserheizung blau, bei Dampfheizung gelb. Die mit Einzelheizung zu versehenden Räume sind durch Einzeichnung der Oefen kenntlich zu machen.

Im Programm und in den besonderen Bedingungen sind die aus den Anlagen B und C ersichtlichen Angaben kurz zusammenzufassen.

Die der Berechnung der Wärmeverluste zu Grunde zu legende niedrigste Ortstemperatur, bei der die vorgeschriebene Erwärmung ohne übermässige Anspannung der Heizungsanlage erzielt werden muss, ist, soweit möglich, nach dem Durchschnitt der letzten 10 Jahre anzunehmen.

II. Ausarbeitungen der Bewerber.

1. Berechnungen, Erläuterungen und Zeichnungen.

In der Berechnung der Wärmeverluste sind die Spalten 6 und 7 zu prüfen und nöthigenfalls zu berichtigen. Die Spalten 8 und 9 sind auszufüllen. Die Summe von Spalte 9 ist am Schlusse zu ermitteln. Durch Unterzeichnung der Wärmeverlust-Berechnung hat der Bewerber die Verantwortlichkeit für deren Richtigkeit zu übernehmen.

Ferner sind prüfungsfähige Berechnungen zu liefern von der Grösse der Wärme-Entwickler, der Rostflächen, Schornsteine, des Lüftungsbedarfes, der Luftkanäle, Heizkörper u. dgl.

In einer Erläuterung ist die Heizungs- und Lüftungsanlage eingehend zu beschreiben. Zugleich sind hierbei etwaige Bedenken gegen die Unterlagen des Wettbewerbes zum Ausdrucke zu bringen. Auch steht es dem Bewerber frei, selbständige Gegenvorschläge zu machen; doch ist für die Entwurfsbearbeitung stets das von der Bauverwaltung den Bewerbern gegebene Programm als Grundlage bei-

Digitized by Google

zubehalten. Der voraussichtliche Hitzegrad der abziehenden Rauchgase ist zu bezeichnen. Auch ist anzugeben, welches Bedienungspersonal zum ordnungsmässigen Betriebe erforderlich sein wird.

In eine Ausfertigung der Zeichnungen der Bauverwaltung ist der Entwurf des Wettbewerbers einzutragen. Insbesondere ist darzustellen:

> Die Lage der Rauchrohre, der Luftkanäle, ihrer Ein- und Ausströmungsöffnungen, sowie der Frischluftentnahmestellen, die Lage der Wärme-Entwickler und der Räume für Brennstoffe, die Anordnung der Rohrleitungen unter Angabe der Ausgleich-Vorrichtungen, die Rohrschlitze oder Rohrkanäle, der Hauptventile und der Ausdehnungsgefässe, sowie die Stellung der Heizkörper.

Bei Luftheizungen ist die Lage der Frischluft-, Abluft- und Umlauf-Kanäle anzugeben und bei etwaiger Wahl von Vorrichtungen zur Mischung kalter und warmer Luft deren Wirkung und Betrieb durch Zeichnung und Beschreibung zu erläutern.

An Einzelzeichnungen sind beizufügen: Darstellung der Wärme-Entwickler, Heizkörper, Rohrverbindungen, Ventile, Gitter, Lüftungsklappen, Ausgleich-Vorrichtungen, Ausdehnungsgefässe u. dgl. Hierzu können vorhandene Drucksachen und Pausen verwendet werden. Einzeldarstellungen und Beschreibungen der angebotenen Gegenstände sind mit der Aufschrift: Gehört zu Pos. .... des Angebots zu versehen.

2. Kostenberechnung.

Die Kosten der Anlage sind getrennt nach den etwa vorkommenden verschiedenen Arten der Heizung und Lüftung in einer ausführlichen Berechnung zu veranschlagen.

Diese Kostenberechnung soll alle zur betriebsfähigen Herstellung der Anlage erforderlichen Leistungen und Lieferungen umfassen, sofern nicht bestimmte Theile ausdrücklich ausgeschlossen sind.

Dagegen sind die Kosten für Erdarbeiten, Stemmarbeiten, Herstellung des Mauerwerks bei Luftheizöfen, Kesseln, Kanälen u. dgl., Verputzen der durch Mauern und Decken geführten Röhren, sowie für Einsetzen und Verputzen der Lüftungsklappen, Schieber, Rohrhalter u. dgl. einschliesslich der dazu erforderlichen Baustoffe, auch für Tischler-, Maler- und Lackirer-Arbeiten, sowie für Anschlüsse an Wasserleitungen und Entwässerungen nicht in die Kostenberechnung aufzunehmen.

Der Bewerber hat für die Richtigkeit der von ihm zu liefernden Zeichnungen zu denjenigen Nebenarbeiten, die vor Beginn der Montirung der Heizungsanlage zur Ausführung gelangen, die volle Verantwortung zu übernehmen, desgleichen auch für die richtige Ausführung der während der Montirung nach seinen Zeichnungen oder Angaben herzustellenden Nebenarbeiten. Die Einheitspreise sind hiernach, sowie unter Berücksichtigung der Fracht- und Reisekosten zu berechnen.

Die für die einzelnen Bestandtheile wie für Kessel, Luftheizhöfen, Heizkörper u. dgl. gewählten Wandstärken sind sowohl in den Einzelzeichnungen als in der Kostenberechnung genau anzugeben.

Alle Wärme-Entwickler und Heizkörper sind nach der Heizfläche und dem Gewicht, getrennt von den Kosten der Aufstellung, in Ansatz zu bringen. Alle Rohrleitungen sind mit dem inneren und äusseren Durchmesser und einschliesslich des Verlegens und des Dichtungsmateriales, sowie eines Anstriches mit Mennige aufzunehmen, die Formstücke, Lagerungs- und Befestigungstheile in einem bestimmten Verhältnisse zum Gesammtpreise der Rohrleitungen anzugeben. Die Wärmeschutzumhüllungen sind nach dem Längenmafs und dem äusseren Durchmesser der zu umhüllenden Rohre zu berechnen.

Geschmiedete und gusseiserne Gitter, Drahtgitter, Klappen und Schieber, Ausdehnungsgefässe und Saugkappen für Abzugsschächte sind nach Stückzahl, Mafs und Wandstärken aufzuführen.

Digitized by Google

Die Kostenberechnung ist nach folgenden Titeln zu ordnen:

Tit. I. Wärme-Entwickler (Kessel, Luftheizöfen u. dgl.) mit allem Zubehör, einschliesslich der zur Ausrüstung gehörigen Thermometer und Pyrometerhülsen.
„ II. Heizkörper mit allem Zubehör, einschliesslich der Regelungsvorrichtungen für die Wärme-Abgabe, jedoch ausschliesslich etwaiger Verkleidungen.
„ III. Rohrleitungen, Mauer- und Decken-Schutzhülsen, Wärmeschutzmasse.
„ IV. Ausdehnungsgefässe, Wassersammler, Hauptventile, Uebergangsventile.
„ V. Regelungsvorrichtungen für Luftkanäle nebst Gittern, Filtern, Saugkappen u. s. w.
„ VI. Insgemein. Rohrschlitz-Verkleidungen. Kanal-Abdeckungen.

Am Schlusse der Kostenberechnung ist überschläglich nach den Gesammtkosten der auf Lüftungsanlagen entfallende Betrag zu ermitteln.

Nachträge, in denen verschiedene Ausführungsarten zur Auswahl gestellt werden, sind zwar zulässig, doch soll das Hauptangebot diejenige Ausführungsart behandeln, welche der Bewerber für die zweckmässigste hält.

III. Technische Vorschriften für die Bearbeitung der Programme und Entwürfe.

1. Grad der Erwärmung und Stärke des Luftwechsels in den einzelnen Räumen.

Als Wärmegrade sind in der Regel vorzuschreiben:

für Krankenzimmer	22° C.
„ Geschäfts- und Wohnräume	20° „
„ Säle, Hörsäle und Hafträume	18° „
„ Sammlungs- und Ausstellungsräume, Flure, Gänge und Treppenhäuser, je nach ihrer Benutzung und dem auf ihnen stattfindenden Verkehr	10—18° „

Hafträume, die lediglich zum gemeinschaftlichen Schlafen der Gefangenen dienen, bleiben ungeheizt.

Schlafräume, welche auch zum Aufenthalte der Gefangenen an Sonn- und Feiertagen dienen, sind auf 18° zu heizen, aber mit Abstellvorrichtungen zu versehen.

Der Berechnung ist in der Regel ein Luftwechsel für Kopf und Stunde zu Grunde zu legen, und zwar:

in Schlafzellen für Gefangene von	10 cbm
„ Einzelzellen für Gefangene von	15—22 „
„ Räumen für gemeinschaftliche Haft von	10 „
„ Versammlungssälen und Hörsälen bis zu	20 „
„ Schulklassen, je nach dem Alter der Schüler, von	10—25 „

Der Lüftungsbedarf bei Krankenräumen ist in jedem einzelnen Falle im Einvernehmen mit der nutzniessenden Behörde zu ermitteln.

Für Flure und Treppenhäuser ist in der Regel stündlich ein halb- bis einmaliger Luftwechsel vorzusehen. Dienen die Flure zum zeitweiligen Aufenthalt einer grösseren Anzahl von Personen, so ist stündlich ein zweimaliger Luftwechsel erforderlich.

Sämmtliche angegebene Werthe gelten nur für Räume, bei denen eine Ueberheizung durch Wärme-Abgabe der Insassen oder durch die Beleuchtung nicht zu befürchten ist oder bei Erwärmung der Räume durch Luftheizung kein grösserer Luftwechsel erforderlich wird. In diesen Fällen ist eine besondere Berechnung für den Luftwechsel aufzustellen.

In Aborten und anderen Räumen, in denen sich üble Gerüche oder Dünste

Digitized by Google

entwickeln, ist unabhängig von der Entlüftung der übrigen Bautheile die Berechnung der Abluftkanäle thunlichst für einen fünffachen, mindestens aber für einen dreifachen Luftwechsel durchzuführen.

2. Berechnung der Wärmeverluste.

Für die Berechnung der Wärmeverluste sind folgende Temperaturen in Ansatz zu bringen:

für ungeheizte oder nicht täglich geheizte, abgeschlossene Räume im Keller und in den übrigen Geschossen	0° C.
„ ungeheizte, öfter von der Aussenluft bestrichene Räume, wie Durchfahrten, Vorhallen und Vorflure	— 5° „
„ unmittelbar unter der Dachfläche liegende Räume bei Metall- und Schieferdächern	— 10° „
bei dichteren Bedachungsarten, wie Ziegel, Holzcement u. s. w.	— 5° „

Bei Dauerbetrieb der Heizung sind die stündlichen Wärmeverluste für 1° C. Temperatur-Unterschied und 1 qm Fläche wie folgt zu berechnen:

bei vollem Ziegelmauerwerk von 0,12 m Stärke . . .	2,40 WE,
„ „ „ „ 0,25 „ „ . . .	1,70 „ ,
„ „ „ „ 0,38 „ „ . . .	1,30 „ ,
„ „ „ „ 0,51 „ „ . . .	1,10 „ ,
„ „ „ „ 0,64 „ „ . . .	0,90 „ ,
„ „ „ „ 0,77 „ „ . . .	0,80 „ ,
„ „ „ „ 0,90 „ „ . . .	0,65 „ ,
„ „ „ „ 1,03 „ „ . . .	0,60 „ ,
„ „ „ „ 1,16 „ „ . . .	0,55 „ ,

bei Quaderverblendung ist für die gleiche Gesammt-Wandstärke den vorstehenden Werthen ein Zuschlag von 15% hinzuzurechnen.

Bei vollem Sandstein-Mauerwerk (Quader- oder Bruchstein)

von 0,30 m Stärke	2,20 WE,
„ 0,40 „ „	1,90 „ ,
„ 0,50 „ „	1,70 „ ,
„ 0,60 „ „	1,55 „ ,
„ 0,70 „ „	1,40 „ ,
„ 0,80 „ „	1,30 „ ,
„ 0,90 „ „	1,20 „ ,
„ 1,00 „ „	1,10 „ ,
„ 1,10 „ „	1,00 „ ,
„ 1,20 „ „	0,95 „ .

Bei Kalkstein-Mauerwerk sind vorstehende Werthe um 10% zu erhöhen.

Bei Drahtputzwänden von 4—6 cm Stärke	3,00 WE,
„ „ „ 6—8 „ „	2,40 „ ,
„ Balkenlagen mit halbem Windelboden	
als Fussboden	0,35 „ ,
als Decke	0,50 „ ,
„ Gewölben mit massivem Fussboden	1,00 „ ,
„ Gewölben mit Dielung darüber	
als Fussboden	0,45 „ ,
als Decke	0,70 „ ,
„ hölzernen über dem Erdreich hohl verlegten Fussböden	0,80 „ ,
„ desgl. in Asphalt verlegt	1,00 „ ,
„ massiven Fussböden über dem Erdreich	1,40 „ ,

Digitized by Google

Bei einfachen Fenstern und Glasfüllungen in Thüren	5,00	WE,
„ doppelten „	2,30	„ ,
„ einfachen Oberlichtern	5,30	„ ,
„ doppelten „	2,40	„ ,
„ Thüren	2,00	„ ,

Soweit erforderlich sind von den Bewerbern die mit diesen Werthen berechneten Wärmeverluste durch Zuschläge zu erhöhen, wobei die Höhe der Räume, ihre Lage im Gebäude und zu den Himmelsrichtungen, sowie die Art des Betriebes und seine etwaigen Unterbrechungen zu berücksichtigen sind. Diese Zuschläge sind näher zu begründen.

Bei Berechnung des Wärmebedarfes für solche Räume, die neben höher erwärmten Zimmern oder Sälen liegen, wie zum Beispiel für Flure und Gänge, ist der durch die Wärme-Abgabe der Trennungswände entstehende Wärmegewinn von dem Wärmeverlust in Abzug zu bringen.

Bei Kirchenschiffen und ähnlich hohen, mit grossen Abkühlungsflächen versehenen Räumen, die nicht täglich geheizt werden, ist von der Berechnung der Wärmeverluste nach dem Muster der Anlage D Abstand zu nehmen. Es soll vielmehr bei den für solche Räume zu entwerfenden Centralheizungen den Bewerbern überlassen bleiben, durch Erfahrungssätze nachzuweisen, dass die verlangte Erwärmung gesichert ist.

3. Berechnung des Luftwechsels.

Die höchste Aussentemperatur ist im Allgemeinen anzunehmen zu:

-+ 25°, wenn der Luftwechsel durch die Anlage sowohl im Winter als im Sommer erzielt werden soll,

+ 10°, wenn nur während der Heizperiode die volle Lüftung verlangt wird (Krankenhäuser, Schulen, Gerichtssäle, Versammlungssäle, Kassenräume u. dgl.),

0 bis + 5°, wenn im Winter die volle Lüftung nur durchschnittlich erzielt zu werden braucht (Wohnräume, gering besetzte Bureauräume u. dgl.).

Sofern die Räume nicht gleichzeitig durch die einzuführende Luft erwärmt werden (Luftheizung), ist der Berechnung der Kanalanlage stets die höchste Aussentemperatur zu Grunde zu legen.

Die niedrigste Aussentemperatur ist massgebend für die Grössenverhältnisse der zur Erwärmung der Zuluft bestimmten Heizkörper. Soll der volle Luftwechsel auch an den kältesten Wintertagen erzielt werden, oder wird die Erwärmung der Räume an den Luftwechsel geknüpft, so ist die Temperatur gleich der niedrigsten Aussentempenatur, für welche die Heizanlage bestimmt ist, anzunehmen.

Im Allgemeinen ist mit Ausnahme der Luftheizung eine Beschränkung des Luftwechsels bei starker Kälte zulässig und für die Lüftungsanlage eine niedrigste Aussentemperatur von etwa — 5° anzunehmen.

4. Allgemeine Forderungen für alle Heizungsarten.

a) Für Räume, die nach Norden liegen, oder den herrschenden Winden besonders ausgesetzt sind, ist eine erhöhte Wärmezufuhr vorzusehen.

b) Um Rauchbelästigung zu verhüten, müssen Einrichtungen zur möglichst vollständigen Verbrennung der Brennstoffe vorgesehen werden.

c) Bei der Aufstellung der Kessel und der Anlage der Heizkammern ist darauf Bedacht zu nehmen, dass sie bequem gereinigt werden können. Es sind Vorkehrungen zu treffen, durch welche die Temperatur des Wassers, der Heizluft und der Druck des Wassers oder Dampfes sicher ersehen werden kann. Um die Tem-

Digitized by Google

peratur der abziehenden Rauchgase messen zu können, sind Hülsen zum Einsetzen von Pyrometern vorzusehen.

d) Kessel und Luftheizöfen müssen zur Vornahme von Ausbesserungen oder zur Erneuerung möglichst bequem aus der Ummantelung und aus dem Gebäude entfernt werden können.

e) Die nicht zur unmittelbaren Wärme-Abgabe bestimmten Leitungsröhren sind zur Verhütung von Wärmeverlusten oder Frostschäden mit schlechten Wärmeleitern zu umkleiden. Ueber die Einzelheiten dieser Umkleidungen ist in den Erläuterungen und in der Kostenberechnung das Nähere anzugeben.

f) Bei Führung der Röhren durch Decken und Wände sind Vorkehrungen zu treffen, die verhüten, dass an diesen Stellen durch die Bewegung der Röhren der dichte Schluss beeinträchtigt und der anstossende Mörtelputz gelöst wird. Verbindungsstellen dürfen nicht im Innern von Mauern oder Decken liegen.

g) Wo durch den von warmer Luft mitgeführten Staub über Ausströmungsöffnungen, Heizkörpern oder Rohrleitungen Wände und Decken beschmutzt werden könnten, ist dafür zu sorgen, dass der Luftstrom von den Wänden und Decken abgelenkt und thunlichst vertheilt wird.

5. Besondere Forderungen für die einzelnen Heizungsarten.

A) Luftheizung.

a) Bei der Konstruktion von Feuerluftheizöfen ist auf die Möglichkeit des Auswechselns einzelner Theile Werth zu legen.

Die Oefen müssen eine Heizfläche von solcher Grösse erhalten und so konstruirt werden, dass bei vorschriftsmässigem Betriebe ein Erglühen der Eisentheile nicht eintritt und ein Verbrennen der in der Luft enthaltenen Staubtheile an den Heizflächen ausgeschlossen ist.

Sämmtliche Verbindungsstellen müssen so dicht schliessen, dass ein Austreten des Rauches oder schädlicher Gase in die Heizkammer nicht möglich ist. Ferner ist darauf zu achten, dass die Eisentheile sich unbeschadet der Dichtigkeit des Verschlusses ausdehnen können und dass die Reinigung der Heizflächen von Staub mit Leichtigkeit von der Heizkammer aus erfolgen kann. Die Reinigung der Rauchzüge muss sich dagegen von einem Raum ausserhalb der Heizkammer, der mit der Zuführung frischer Luft in keinem Zusammenhange steht, bewirken lassen. Die Einsteigethür zur Heizkammer ist doppelt aus Eisen herzustellen.

b) Die Lage und Vertheilung der Ausströmungsöffnungen sowie ihre Höhe über dem Fussboden ist so zu wählen, dass bei gleichmässiger Erwärmung des Raumes eine Belästigung der Insassen durch Luftbewegungen nicht eintreten kann. In den Kanälen zur Abführung verbrauchter Luft ist je eine Oeffnung in der Nähe des Fussbodens und der Decke anzulegen. Die oberen Oeffnungen sind namentlich dann erforderlich, wenn Gasbeleuchtung vorgesehen, oder die Entwickelung zu hoher Wärmegrade zu befürchten ist. Für die Handhabung dieser Abluftöffnungen sind in der Betriebsvorschrift (IV. 2) besondere Bestimmungen zu treffen.

c) Die Temperatur der in die Räume eintretenden Luft darf 45° nicht überschreiten. Die Bestimmung der Geschwindigkeit und die genauere Ermittelung der Temperatur der einströmenden Luft bleibt der Berechnung des Bewerbers vorbehalten.

Bei grossen Räumen empfiehlt es sich, mehrere Zu- und Abführungs-Kanäle anzulegen und sie, sofern thunlich, an getrennte Heizsysteme anzuschliessen.

d) Bei der Einführung der frischen Luft in die Heizkammern sind die unterirdischen Kanäle auf möglichst geringe Längen zu beschränken. Um Störungen durch Wind vorzubeugen, empfiehlt es sich, die Luftentnahme an zwei entgegengesetzten Stellen derart anzuordnen, dass je nach der Windrichtung die Luft von der einen oder anderen Seite den Luftheizöfen zugeführt werden kann.

Digitized by Google

e) Zur Reinigung der frischen kalten Luft von Staub sind Staubkammern vorzusehen und nach Bedarf bequem zugängliche, leicht zu reinigende Filter aufzustellen.

f) Der Feuchtigkeitsgehalt der Zuluft ist bei Luftheizungs- und Lüftungsanlagen im einzelnen Falle besonders zu bestimmen.

B) Heisswasserheizung.

a) Die Heizanlage ist so zu berechnen, dass zur Erzielung der vorgeschriebenen Wirkung das Wasser nicht über 140° C. erwärmt wird.

b) Die Heizöfen sind so herzustellen, dass die Feuerschlangen zur Ausbesserung oder Erneuerung ohne wesentliche Beschädigung des Mauerwerkes herausgenommen werden können.

c) Die Röhren müssen überall leicht zugänglich sein und sollen, soweit thunlich, nicht in die Fussböden verlegt werden.

d) Rohrleitungen, die zur Erwärmung kalt liegender Lüftungsschlote dienen oder sonst der Gefahr des Einfrierens ausgesetzt sind, müssen statt mit Wasser mit einer anderen geeigneten, schwer gefrierbaren Flüssigkeit gefüllt werden. Derartige Flüssigkeiten dürfen die Rohrwandungen nicht angreifen und keine Krystalle absetzen.

e) Bei Biegung der Röhren um 180° müssen schleifenförmige Erweiterungen vorgesehen werden, wenn die parallel laufenden Röhren weniger als 8 cm von einander entfernt sind.

f) Die ganze Anlage muss einschliesslich der Feuerschlangen im kalten Zustande einen Probedruck von 150 Atmosphären aushalten können, ohne Undichtigkeiten zu zeigen.

C) Warmwasserheizung und Dampf-Warmwasserheizung.

a) Die Konstruktion der Kessel muss unter Angabe der wichtigsten Wandstärken in allen Einzelheiten durch Zeichnungen dargestellt werden, die zugleich die Einmauerung, die Anordnung des Rostes, der Feuerzüge u. s. w. ersehen lassen. Die Gewichte der Kessel für sich und der Eisentheile der Feuerungsausrüstung sind im Kostenanschlage anzugeben.

Das Rücklaufrohr der Leitung darf an keiner Stelle von der Stichflamme der Feuerung getroffen werden.

b) Die Heizanlage ist so zu berechnen, dass zur Erzielung der vorgeschriebenen Wirkung das Wasser im Kessel bei Mitteldruckheizungen nicht über 120° C., bei Niederdruckheizungen nicht über 90° C. erwärmt wird.

c) In den Bauzeichnungen ist die Lage der Röhren und der Ausgleich-Vorrichtungen anzugeben, während in besonderen Einzelzeichnungen die Verbindung der Röhren, die Konstruktion der Ausgleichsstücke und Ventile, sowie die Art der Führung der Röhren durch Wände und Decken darzustellen sind.

d) Von den Heizkörpern müssen Zeichnungen beigefügt werden, aus denen unter Angabe der Materialien und der Wandstärken die Verbindungen und Anschlüsse an die Rohrleitungen ersichtlich sind.

Die Heizkörper sind so herzustellen, dass sie ohne Beschädigung der Rohrleitungen und Wände abgenommen werden können.

Die Ventile von Heizkörpern, die allgemein zugänglich sind, sollen in der Regel nicht mit festen Handrädern oder Griffen, sondern mit Aufsteck-Schlüsseln versehen werden.

Die Ventile von Heizkörpern, die bei zeitweiligem Abschluss der Gefahr des Einfrierens ausgesetzt werden, sind so zu konstruieren, dass eine völlige Unterbrechung des Wasserumlaufes nicht eintreten kann.

e) Die Ausdehnungsgefässe sind mit Ueberlaufröhren und mit Vorrichtungen zu versehen, die den Wasserstand an geeigneter Stelle ersichtlich machen. Gefässe und Rohre sind gegen Einfrieren durch Verkleidungen zu schützen. Zur Ausfüllung

Digitized by Google

zwischen den Ausdehnungsgefässen und den Verkleidungen dürfen organische oder schwefelhaltige anorganische Stoffe nicht verwendet werden.

Unter jedem Ausdehnungsgefäss ist ein Sicherheitsboden mit Wasserableitung vorzusehen.

f) In jedem Falle ist besonders zu erwägen, ob Aushelfkessel erforderlich sind. Im Allgemeinen kann bei Anlage mehrerer Kessel von der Beschaffung eines Aushelfkessels abgesehen werden. Die gesammte Kesselfläche ist alsdann so zu bemessen, dass bei der Ausschaltung eines schadhaften Kessels mit den übrigen der Wärmebedarf durch Verlängerung der Heizzeit ohne Schwierigkeit erzielt werden kann.

g) Die gesammte Anlage ist so herzustellen, dass sie nach der Vollendung, ohne Undichtigkeiten zu zeigen, einer Druckprobe mit kaltem Wasser unterworfen werden kann. Bei Niederdruckheizungen ist in der Regel ein Druck anzuwenden, der den im Kessel vorhandenen Druck der Wassersäule um $2^1/_2$ Atmosphären übersteigt. Bei Mitteldruckheizungen ist ein Druck von fünf Atmosphären anzuwenden.

h) Verkleidungen von Heizkörpern sind thunlichst zu vermeiden.

D) Dampfheizung und Dampfwasserheizung.

a) Die Konstruktion der Kessel muss unter Angabe der wichtigsten Wandstärken in allen Einzelheiten durch Zeichnungen dargestellt werden, die zugleich die Einmauerung sowie die Anordnung der Roste und der Feuerzüge, die Vorkehrungen zur selbstthätigen Regelung der Feuerung, die Speisevorrichtungen, die Standrohre und sonstige Konstruktionstheile ersehen lassen. Bezüglich der Gewichte gilt das bei C a Gesagte.

b) Dampfspannungen von mehr als 2 Atmosphären sind nur in Räumen, welche in der Regel allein dem Heizpersonal zugänglich sind, zulässig. Hinter den erforderlichen Uebergangsvorrichtungen sind in jedem Falle Sicherheitsventile anzuordnen, deren Belastung einer Dampfspannung entspricht, die den beabsichtigten geringeren Druck um 1 Atmosphäre übersteigt.

Bei Dampf-Niederdruckheizung darf die in den Kesseln und der Leitung vorhandene höchste Spannung während des Beharrungszustandes $^1/_8$ Atmosphäre nicht übersteigen.

c) Die Heizung ist so anzulegen, dass störendes Geräusch, Pochen und Knallen in den Rohrleitungen und Heizkörpern nach Ablauf der Anheiz-Zeit nicht vorkommt.

d) Die bei der Warmwasserheizung unter c, d, f und h aufgeführten Bestimmungen gelten auch hier mit der Abweichung, dass wegen der Gefahr des Einfrierens auf Abscheidung des Dampfwassers und dessen vollständigen Abfluss aus den Heizkörpern und Rohrleitung besonders zu halten ist. Im Uebrigen ist dafür zu sorgen, dass eine genügende Zahl von Wassersammlern angeordnet wird. Bei Dampfwasserheizung müssen die Heizkörper in den Zimmern mit Vorkehrungen zum Entleeren und Nachfüllen versehen werden, sofern nicht durch geeignete Vorrichtungen der Wasserstand selbstthätig auf bestimmter Höhe gehalten wird.

e) Die Anlage ist so herzustellen, dass sie nach Vollendung einer Druckprobe unterworfen werden kann, ohne Undichtigkeiten zu zeigen. Bei Niederdruckheizungen mit offenem Standrohre sind nur die Kessel mit 3 Atmosphären Wasserdruck, die Rohrleitungen und Heizkörper mit Dampf von 0,4 bis 0,5 Atmosphären Ueberdruck zu erproben. Bei Niederdruck-Dampfheizungen, für die Dampf mit herabgemindertem Druck unmittelbar verwendet wird, sind die Rohrleitungen und Heizkörper mit einem Dampfdruck zu prüfen, der den Druck, für den das unter b bezeichnete Sicherheitsventil belastet ist, um 2 Atmosphären übersteigt. Jedoch ist der für den Dampfkessel genehmigte höchste Druck nicht zu überschreiten. Bei Hochdruckheizungen gelten für die Druckprobe der Dampfkessel die gesetzlichen Bestimmungen. Zur Prüfung der übrigen Anlage ist Dampf von der höchsten zulässigen Spannung zu verwenden.

Digitized by Google

IV. Allgemeines.

1. Verfahren bei Vornahme von Druckproben und Probeheizungen.

a) Die erforderlichen Druckproben sollen im Beisein des Unternehmers oder seines Vertreters vorgenommen werden. Die hierzu nöthigen Hilfskräfte, Pumpen, Manometer u. dergl. hat der Unternehmer auf seine Kosten zu beschaffen. Die Beschaffung von Druckwasser ist Sache der Bauverwaltung. Betheiligt sich der Unternehmer auf Einladung weder selbst, noch durch einen Vertreter an der Druckprobe, so begiebt er sich jeden Einwandes gegen den seitens der Bauverwaltung festgestellten Befund.

b) Sobald die Heizung nach ihrem äusseren Ansehen von der Bauverwaltung für sachgemäss hergestellt erachtet wird, ist thunlichst bald festzustellen, ob die Anlage im Allgemeinen den Vertragsbedingungen entspricht. Zu diesem Zwecke ist eine erste Probeheizung von genügender Dauer vorzunehmen. Zu dieser hat der Unternehmer unentgeltlich die nöthigen Mannschaften zu stellen, während das zur Füllung der Kessel und der Leitungen erforderliche Wasser, sowie die Brennstoffe von der Bauverwaltung geliefert werden. Bei der ersten Probeheizung ist festzustellen, ob alle Heizkörper nahezu gleichzeitig warm werden, ob die Anlage überall dicht bleibt und ob sie geräuschlos arbeitet.

c) Mit dem Tage der ersten Probeheizung beginnt die in den besonderen Vertragsbedingungen vorzusehende, im Allgemeinen nicht über drei Jahre hinaus auszudehnende Gewährleistungsfrist.

d) Um endgiltig festzustellen, ob die vorgeschriebene Wirkung erzielt wird, soll innerhalb des ersten Winters, nachdem das Gebäude in regelmässige Benutzung genommen worden ist, eine zweite etwa drei- bis achttägige Probeheizung bei niedriger Aussentemperatur vorgenommen werden. Ergiebt sich bei der zweiten Probeheizung, dass die Anlage den Bedingungen des Vertrages nicht entspricht, so sind die zur Herstellung einer einwandfreien Anlage erforderlichen Nacharbeiten derart zu beschleunigen, dass noch vor Ablauf der Gewährleistungsfrist eine nochmalige Probeheizung möglich wird. Ist dies nicht zu erreichen, so verlängert sich die Gewährleistungsfrist so lange, bis der vertragsmässige Zustand erreicht und durch eine Probeheizung nachgewiesen ist.

2. Betriebsvorschrift.

Für die Bedienung der Heizung hat der Unternehmer im Einvernehmen mit der Bauverwaltung nach dem Muster der Anlage F Vorschläge zu einer „Betriebsvorschrift auszuarbeiten. Hierbei sind zu berücksichtigen: Die Bedienung der Feuerungen und Rauchverhütungsvorkehrungen, die Behandlung der Wärme-Entwickler und ihrer Ausrüstung, sowie der Heizkörper, Luftfilter, Luftbefeuchtungsapparate, Kanalverschlüsse u. dgl. Zugleich sind in die Betriebsvorschrift Anweisungen bezüglich der Reinigung aller Theile der Heizanlage und zur Verhütung von Frostschäden aufzunehmen. (Vgl. § 4 der Anweisung.)

Mit allen diesen Obliegenheiten hat der Unternehmer das Bedienungspersonal während der Probeheizungen vertraut zu machen.

Nach Feststellung der Betriebsvorschrift ist diese von dem Unternehmer durch Unterschrift anzuerkennen.

Digitized by Google

Anlage B.

Programm

für die Centralheizungs- und Lüftungsanlage im

. . . . . .

zu . . . . . .

1. Lage des Gebäudes: .....

2. Entfernung vom nächsten Güterbahnhofe und Beschaffenheit des Zufuhrweges: .....

3. Vorherrschende besonders abkühlende Winde: .....

4. Beschaffenheit der Mauern:
(Werksteinverblendung, Ziegelbau, Putzbau, Fachwerk.) .....

5. Beschaffenheit der Decken und Fussböden:
(Balkenrichtung.) .....

6. Bedachung: .....

7. Fenster und Oberlichte: .....

8. Höchster Grundwasser- oder Hochwasserstand, bezogen auf die Kellersohle: .....

9. Beschaffenheit des für Heizzwecke zur Verfügung stehenden Wassers in Bezug auf Kesselsteinbildung oder Schlammablagerung: .....

Digitized by Google

10. Kann die Rohrleitung durch Anschluss an eine Wasserleitung gefüllt werden?

11. Können die Kessel durch Anschluss an eine Entwässerungsleitung entleert werden?

(Tiefenlage der Leitung, bezogen auf die Kellersohle.)

12. Einrichtungen zur Rauchverhütung:

13. Bezugsgebiete und Preise frei Heizraum für Brennstoffe bei Bezügen in grösseren Mengen.

50 kg Steinkohle kosten:
50 „ Hüttenkokes „
50 „ Gaskokes „
50 „ Braunkohle „

14. Als Brennstoff soll verwendet werden:

15. Lage der Heizkammern und der Lagerräume für Brennstoffe:

16. Lage der Rauchrohre, der Luftkanäle und der Stellen zur Entnahme frischer Luft:

17. Art und Dauer der Benutzung der Räume:

18. Art und Ausdehnung der Heizung:

Digitized by Google

19. Die Heizung ist zu entwerfen:
    a) für ununterbrochenen Betrieb mit oder ohne ständige Bedienung
    b) für täglich unterbrochenen Betrieb
    c) für den Betrieb nach längeren Unterbrechungen

    (Das Zutreffende ist rechts zu bezeichnen.)

20. Erforderliche Raumtemperaturen bei — ... ° Aussentemperatur:

21. Inhalt der zu heizenden Räume im Ganzen:
    (Nach Heizarten getrennt.)

22. Summe der Wärmeverluste im Ganzen ohne Zuschläge:
    (Nach Heizarten getrennt.)

23. Heizkörper:

24. Welche Rohrleitungen sind in Mauerschlitzen mit dicht schliessenden Verkleidungen zu verlegen?

25. Wo sind Fussboden-Rohrkanäle zulässig?

26. Grösse des Luftwechsels, bezogen auf den Rauminhalt oder die Personenzahl.
    Angabe der niedrigsten Aussentemperatur, für welche die Heizflächen zur Erwärmung der Frischluft, und der höchsten Aussentemperatur, für welche die Zu- und Abluftkanäle zu berechnen sind:

27. Inhalt der mit besonderen Lüftungsanlagen zu versehenden Räume im Ganzen:

28. Luftbefeuchtung:

Digitized by Google

29. **Betriebskraft für die Lüftungsanlage:** .....

30. **Beleuchtung der zu lüftenden Räume:** .....

31. **Spätere Erweiterung des Gebäudes und ungefährer Inhalt der im Erweiterungsbau zu heizenden Räume:** .....

32. **Wie weit ist die Heizung des Erweiterungsbaues schon jetzt zu berücksichtigen?** .....

33. **Sonstige Angaben, welche auf die Entwurfsbearbeitung und Ausführung von Einfluss sein könnten:** .....

Aufgestellt:

....., den.....

Der.....

.....

Anerkannt:

....., den.....

.....

Digitized by Google

Anlage C.

Besondere Bedingungen

für den Entwurf der Centralheizungs- und Lüftungs-Anlage

im . . . . . .

zu . . . . . .

1. Der Ausschreibung liegen zu Grunde:
   a) die Bedingungen für die Bewerbung um Arbeiten und Lieferungen vom 17. Juli 1885,
   b) die allgemeinen Vertragsbedingungen für die Ausführung von Staatsbauten vom 17. Januar 1900,
   c) die Anweisung des Ministers der öffentlichen Arbeiten vom 24. März 1901 zur Herstellung und Unterhaltung von Centralheizungs- und Lüftungsanlagen,
   d) das Heizprogramm, die Berechnung der Wärmeverluste und die Bauzeichnungen,
   e) die hier folgenden Bedingungen.
2. Es bleibt vorbehalten, von den nach 1c veranschlagten, nur für die unter Titel I bis IV enthaltenen Leistungen den Zuschlag zu ertheilen.
3. Beginn der Ausführung auf der Baustelle nach erfolgter Aufforderung . . . Wochen. Voraussichtlich im Monat . . . . . .
4. Fristen für Vollendung der einzelnen Leistungen und der ganzen Anlage: . . . . . .

5. Die Gewährleistungszeit dauert . . . . . Jahre.
6. Wenn ausländische Erzeugnisse von den Bewerbern angeboten werden, ist dies im Preisverzeichniss ausdrücklich anzugeben.
7. Die bei Tagelohnarbeiten beanspruchten Sätze sind von den Bewerbern am Schlusse des Angebotes zu bezeichnen und derart zu bemessen, dass die Ueberwachung der Arbeiter, die Vorhaltung und Abnutzung der Werkzeuge, die Lieferung von Licht, Holz oder Schmiedekohlen sowie von Schmieröl mit eingeschlossen ist.
8. Eine Verpflichtung zur Zahlung eines Geldbetrages (§ 1c der Anweisung) an Bewerber, die den Zuschlag nicht erhalten, besteht nicht. Eine solche Zahlung ist ausgeschlossen, wenn die Betheiligung an dem Wettbewerbe auf Grund eines Gesuches des Bewerbers erfolgt ist.
9. Sonstige, aus den örtlichen Verhältnissen sich ergebende Bedingungen:

Aufgestellt: Anerkannt:

. . . . . ., den . . . . . ., den . . . . . .

Der . . . . . .

Digitized by Google

Besondere Bedingungen

für die Ausführung der Centralheizungs- und Lüftungs-Anlage

im . . . . . .

zu . . . . . .

1. Der Ausführung liegen zu Grunde:
   a) die allgemeinen Vertragsbedingungen für die Ausführung von Staatsbauten vom 17. Januar 1900,
   b) die Anweisung des Ministers der öffentlichen Arbeiten vom 24. März 1901 zur Herstellung und Unterhaltung von Centralheizungs- und Lüftungsanlagen,
   c) das Heizprogramm, die Berechnung der Wärmeverluste und die Bauzeichnungen,
   d) das Angebot, die zugehörigen Zeichnungen, Erläuterungen und Berechnungen mit etwaigen beiderseits anerkannten Aenderungen.
2. Gegenstand des Vertrages sind die unter Titel I bis . . enthaltenen Leistungen.
3. Beginn der Ausführung auf der Baustelle nach erfolgter Aufforderung . . . . Wochen. Voraussichtlich im Monat . . . . . .
4. Die Gewährleistungssumme beträgt . . . . . ℳ und ist binnen . . . . Tagen nach der Ertheilung des Zuschlages zu hinterlegen bei . . . . . .
5. Fristen für Vollendung der einzelnen Leistungen und der ganzen Anlage: . . . . . .
6. Verzugsstrafe: . . . . . .
7. Die Abrechnung ist spätestens . . . . Wochen nach der ersten Probeheizung einzureichen.
8. Die Gewährleistungszeit dauert . . . Jahre.
9. Die Summen der Titel I, II und IV dürfen bei der Abrechnung jede für sich die Angebotssummen nicht überschreiten Bei Titel III ist eine Ueberschreitung bis zu . . . . . vom Hundert zulässig. Mehrleistungen infolge baulicher Aenderungen oder Anordnungen der Bauverwaltung sind besonders in Rechnung zu stellen, dagegen sind Leistungen, welche zur Erzielung der vorgeschriebenen Wirkung und zu einem ordnungsmässigen Betriebe nothwendig, aber im Angebote gar nicht oder nicht ausreichend angegeben sind, unentgeltlich auszuführen.
10. Der ausführende Unternehmer hat rechtzeitig alle Angaben zu machen, die bei Ausführung des Mauerwerks zu berücksichtigen sind, damit Stemmarbeiten nach Möglichkeit vermieden werden.

    Für bauliche Aenderungen, welche durch nicht rechtzeitige oder falsche Angaben des Unternehmers nothwendig werden, hat dieser aufzukommen.

    Falls bauseitig Aenderungen gegen die Vertragszeichnungen eintreten, durch welche die Leistungen des Unternehmers verändert werden könnten, wird

Digitized by Google

diesem sofort Mittheilung gemacht. Der Unternehmer verliert Anspruch auf Entschädigung für Mehrleistungen, wenn er nicht innerhalb 8 Tagen die etwa entstehenden Mehrkosten angiebt.

11. Die Regelung der Ventile hat auf Verlangen der Bauverwaltung zu erfolgen, sobald das Gebäude mit Thüren und Fenstern vollständig geschlossen ist. Der Unternehmer kann nicht verlangen, dass sich hieran sogleich die zweite Probeheizung anschliesst.
12. Die am Schlusse des Preisverzeichnisses angegebenen Tagelohnsätze sind derart bemessen, dass die Ueberwachung der Arbeiter, die Vorhaltung und Abnutzung der Werkzeuge, die Lieferung von Licht, Holz oder Schmiedekohlen sowie von Schmierol mit eingeschlossen ist.
13. Sonstige aus den örtlichen Verhältnissen sich ergebende Bedingungen:

Anerkannt zum Vertrage

....., den .....

Digitized by Google

Digitized by Google

Berechnung

der

stündlichen Wärmeverluste.

Digitized by Google

Bemerkung:

Die Zahl in Spalte 7 wird erhalten durch Multiplikation der Zahlen in Spalte 3.h, 5.c und 6.

Beispiel

für die Ausfüllung der Spalten 1 bis 7.

1.	2.					3.								4.
	Raum					Abkühlungsfläche								
No.	a. Bezeichnung und Nummer des Raumes	b. Länge m	c. Breite m	d. Höhe m	e. Inhalt cbm	a. Bezeichnung	b. Himmelsrichtung	c. Länge m	d. Höhe und Breite m	e. Fläche qm	f. Anzahl	g. Abzuziehen qm	h. In Rechnung gestellt qm	Stärke der Wand m
1.	Berathungszimmer (Eckzimmer)	5,00	6,00	4,00	120	E.F.	N.	1,4	2,1	2,94	2	—	5,88	—
						E.F.	W.	1,4	2,1	2,94	2	—	5,88	—
						J.T.	—	1,5	2,5	3,75	1	—	3,75	—
						A.W.	N.	5,0	4,3	21,50	1	5,88	15,62	51
						A.W.	W.	6,0	4,3	25,80	1	5,88	19,92	51
						J.W.	—	5,0	4,3	21,50	1	3,75	17.75	38
						F.B.	—	5,0	6,0	30,00	1	—	30,00	—
2.	Vorraum	5,0	2,5	4,0	50	E.F.	W.	1,4	2,1	2,94	1	—	2,94	—
						J.T.	—	1,5	2,5	3,75	1	—	3,75	—
						A.W.	W.	2,5	4,3	10,75	1	2,94	7,81	51
						J.W.	—	5,0	4,3	21,50	1	3,75	17,75	38
						J.W.	—	5,0	4,3	21,50	1	—	21,50	38
						F.B.	—	5,0	2,5	12,50	1	—	12,50	—

Digitized by Google

5. Temperatur in Grad Celsius			6.	7. Wärme-Einheiten ohne Zuschläge			8. Zuschläge		9.	10.
a. Innen	b. Aussen	c. Unterschied	Transmissionskoefficient	a. Abgabe	b. Gewinn	c. im Ganzen (a—b)	a. für Himmelsrichtung und Windanfall	b. für Betriebsunterbrechung	Gesammtsumme der Wärme-Einheiten einschl. der Zuschläge	Bemerkungen
+ 20	— 20	+ 40	5,00	1176						
+ 20	— 20	+ 40	5,00	1176						
+ 20	+ 12	+ 8	2,00	60						
+ 20	— 20	+ 40	1,10	687						
+ 20	— 20	+ 40	1,10	876						
+ 20	+ 12	+ 8	1,30	185						
+ 20	± 0	+ 20	0,35	210						
						4370				
+ 12	— 20	+ 32	5,00	470	—					
+ 12	+ 20	— 8	2,00	—	60					
+ 12	— 20	+ 32	1,10	275	—					
+ 12	+ 20	— 8	1,30	—	185					
+ 12	+ 20	— 8	1,30	—	224					
+ 12	± 0	+ 12	0,35	53	—					
				798	469					
					→	329				

Es bedeutet:

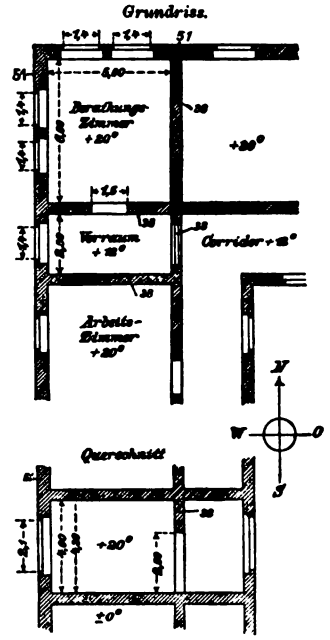
E.F. Einfache Fenster,
D.F. Doppel-Fenster,
J.T. Innenthüren,
A.T. Aussenthüren,
J.W. Innenwände,
A.W. Aussenwände,
F.B. Fussböden,
D. Decken,
E.O. Einfache Oberlichter,
D.O. Doppelte Oberlichter.

Für die Höhe einer senkrechten Wand ist die ganze Geschosshöhe, zwischen den Fussböden-Oberkanten gemessen, einzusetzen.

Am Schlusse der Berechnung ist die Summe der Räuminhalte u. der Wärmeverluste sämmtlicher Räume nach Heizarten getrennt in den Spalten 2. e, 7. c u. 9 zu ermitteln. Die Summe in Spalte 9. ist den statistischen Berechnungen (Anlage J) zu Grunde zu legen.

Skizze zum Zahlenbeispiel.

Grundriss.



Digitized by Google

Digitized by Google

Anlage E.

Tabelle

der wesentlichsten Theile und der Kosten der Heizungs- und Lüftungsanlage

im .....

zu .....

Digitized by Google

Unternehmer A.

1. Summe der Wärme-Einheiten mit Zuschlägen:
2. Summe der Wärme-Einheiten, die der Berechnung der Wärmeentwickler im Heizraume zu Grunde gelegt ist:
3. Zahl, Bauart und Heizfläche der Wärmeentwickler: (Bei Berechnung der Kessel-Heizfläche sind nur die von Feuergasen berührten Flächen, nicht aber die an Mauerwerk stossenden Flächen in Ansatz zu bringen.)
4. Blechstärken der Kessel in mm:
5. Gewichte der Kessel in kg:
6. Gewichte der Eisentheile der Feuerungsausrüstung in kg:
7. Heizflächen in den Räumen, getrennt nach Heizkörperformen, in qm:

8. Art und Grösse der Heizflächen bei besonderen Lüftungseinrichtungen:

9. Material der Rohrleitungen:

10. Wärmeschutzmasse und Länge der geschützten Rohre in m:
11. Regelungsvorrichtungen:

12. (Hier sind die Summen des Hauptangebotes einzusetzen. Vgl. den Schlusssatz von Abschnitt II der Anlage A.)

Summe	von	Titel		I
„	„	„		II
„	„	„		III
„	„	„		IV
Summe	von	Titel	I bis	IV
„	„	„		V
„	„	„		VI
Gesammtsumme			I bis	VI

13. Hiervon entfallen auf Lüftungsanlagen:
14. Anschlagsmässig stehen zur Verfügung:

15. Beurtheilung der Entwürfe:

16. Antrag auf Zuschlagsertheilung:

17. Antrag auf Entschädigung von Bewerbern:

Digitized by Google

Unternehmer B. **Unternehmer C.**

Digitized by Google

Digitized by Google

Anlage F.

Beschreibung und Betriebsvorschrift

der . . . . . .

im . . . . . zu . . . . . .

a) Beschreibung der Heizanlagen:

1. Angabe des Unternehmers, welcher die Anlage ausgeführt hat.
2. Zeit der Ausführung.
3. Tag der ersten Probeheizung, von dem an die Gewährleistungszeit gerechnet wird.
4. Tag der zweiten Probeheizung.
5. Ende der Gewährleistungszeit.
   (Die Daten von 4 und 5 sind einzusetzen, sobald die zweite Probeheizung ergeben hat, dass die Anlage den Bedingungen des Vertrages entspricht.)
6. Kurze Beschreibung der Anlage.
   Bei Luftheizungen: Feuer-, Wasser- oder Dampfluftheizung mit oder ohne Umlauf, Entnahme der Frischluft, Zahl, Grösse und Art der Luftöfen, höchste zulässige Temperatur der Heizluft, Rauchverhütungs-Einrichtungen.
   Bei Wasserheizungen: mit direkter Feuerung oder mit Dampf als Wärmeträger.
   Warmwasserniederdruckheizung (höchste Wassertemperatur + 90°).
   Warmwassermitteldruckheizung (höchste Wassertemperatur + 120°).
   Heisswasserheizung (höchste Wassertemperatur 140° C.).
   Zahl, Art und Grösse der Kessel nach feuerberührter Heizfläche.
   Rauchverhütungs-Einrichtungen.
   Verbrennungsregler.
   Bei Dampfheizungen: Hochdruckheizung (mehr als 0,5 Atm.). Niederdruckheizung (bis 0,5 Atm.) mit direkter Feuerung oder unter Uebergang von Hochdruckdampf oder Heizung von Niederdruckdampfkesseln durch Hochdruckdampf, Abdampfheizung.
   Zahl, Art und Grösse der Kessel.
   Rauchverhütungs-Einrichtungen.
   Verbrennungsregler.

Digitized by Google

7. Inhalt der zu heizenden Räume, getrennt nach Heizungsarten.

8. Erforderliche Raumtemperaturen bis zu — ..... ° Aussentemperatur.

b) Beschreibung der Lüftungsanlagen:

Grösse des für die einzelnen Räume erforderlichen Luftwechsels in cbm.

Frischluftentnahme und Reinigung der Luft.

Einströmungstemperatur der Luft bei:

+ 0°	Aussentemperatur:	.....°.
— 10°	„	.....°.
— 20°	„	.....°.

Abführung verbrauchter Luft.

Abführung von Verbrennungsprodukten bei Gasbeleuchtung.

Erwärmung der Frischluft.

Befeuchtung der Luft.

Lüftung durch Temperaturunterschied oder durch mechanischen Antrieb.

Motor.

c) Betriebsvorschriften.

(Folgen die eigentlichen Betriebsvorschriften, wie sie von dem Unternehmer vorgeschlagen, von der Staats-Bauverwaltung festgestellt und vom Unternehmer anerkannt sind.)

Digitized by Google

Anlage G.

Centralheizungs- und Lüftungsanlage in

. . . . . .

Temperaturen im Betriebsjahre 19 . . .—19 . . .

(Wöchentlich einmal vor Beginn der Dienststunden aufzunehmen in 1,50 m Höhe über dem Fussboden und entweder mitten im Zimmer oder an einer nicht kalten Wand.)

Datum	Aussentemperatur C.	Windrichtung von	Bei Wasserheizungen Temperatur im Steigerohr. Bei Dampfheizungen Spannung in Atm. Bei Luftheizungen Temperatur der Heizluft	Bezeichnung der Räume und erforderliche Temperaturen + C.	+ C.	+ C.	+ C.	+ C.	+ C.	Bemerkungen (z. B. über Lüftung)
Beobachtete Temperaturen										
Beobachtete Temperaturen										
Beobachtete Temperaturen										
Beobachtete Temperaturen										
Beobachtete Temperaturen										

Digitized by Google

Anlage H.

Centralheizungs- und Lüftungsanlage in

. . . . . .

Unterhaltungs- und Betriebskosten

im Betriebsjahre 19 . ./19 . . (Vom 1. September bis 31. August.)

	Kosten
1. Zeit und Art der Ausbesserungen und Erneuerungen	
2. Aenderungen der ursprünglichen Anlage	
3. Art, Menge, Bezugsquelle und Einheitspreis des Brennstoffes: (Hier ist nicht die beschaffte, sondern die wirklich verbrauchte Menge anzugeben)	
4. Bezeichnung des Bedienungspersonals: (Die Personen sind einzeln mit ihren Bezügen, die Heizer mit Namen anzuführen)	
zusammen	

Digitized by Google

Anlage J.

Nachweisung

über die Art und Anlagekosten der Centralheizungs- und Lüftungs-Anlage

in ..... zu .....

Art der Heizung .....

Aufgestellt

..... den ..... 19..

(Name:) .....

(Amtscharakter:) .....

Geprüft ..... den ..... 19..

Der Regierungs- und Bau-Rath.

.....

Digitized by Google

1.	2.	3.	4.
Nummer	Bestimmung des Gebäudes und Ort der Ausführung	Zeit der Ausführung und Name des Unternehmers	Art der Heizung und Lüftung

Bemerkungen, betreffend die Ausfüllung der Tabelle.

Sind in einem Gebäude Centralheizungen verschiedener Art, so ist für jede eine besondere Tabelle aufzustellen.

In Spalte 4 ist die Art der Heizung und Lüftung kurz zu beschreiben. Dabei ist anzugeben die Zahl, Bauart und feuerberührte Heizfläche, der Wärme-Entwickler, die Art der Heizkörper in den geheizten Räumen, die Anordnung und Beschaffenheit der Rohrleitungen, die Art der Lüftung, ob durch Temperaturunterschied oder mechanische Kräfte, die Art der Heizkörper in den Luftkammern, die Zuführung frischer und Abführung verbrauchter Luft.

In Spalte 5 ist der Inhalt der auf verschiedene Temperatur zu erwärmenden Räume getrennt anzugeben.

In Spalte 7 sind diejenigen Räume nach Inhalt und Grösse des Luftwechsels zu bezeichnen, für die frische Luft in besonderen Luftkammern erwärmt wird. Die niedrigste Temperatur, für welche die Heizkörper in den Luftkammern und die höchste Temperatur, für welche die Luftkanäle berechnet sind, ist durch Bezeichnung der Grenzen, in denen der Luftwechsel stattfinden soll, anzugeben.

Z. B.: der 1400 cbm enthaltende Saal wird stündlich durch 4200 cbm Frischluft bei Aussentemperaturen von -10^0 bis $+10^0$ C. gelüftet.

Digitized by Google

5.	6.	7.	8.			9.	10.
			Anlagekosten der Heizung				
			A	B	C		
Inhalt der zu erwärmenden Räume	Verlangte Temperaturen in den zu erwärmenden Räumen	Inhalt der zu lüftenden Räume und Grösse des Luftwechsels in cbm	im Ganzen	für 100 cbm beheizten Raumes	für 1000 *WE* der für Heizung berechneten Wärmemengen	Kosten der Lüftungsanlagen	Gesammtkosten und Bemerkungen
cbm			ℳ	ℳ	ℳ	ℳ	
							Gesammtkosten Spalte 8A + 9 = ℳ Von den Anlagekosten der Heizung entfallen auf a) b) c)

Die in Spalte 8A aufzunehmenden Kosten sind in Spalte 10 folgendermassen einzeln aufzuführen:

a) Die Kosten der eigentlichen Heizungsanlage,
b) Die Kosten für das Einmauern und Verputzen aller zur Heizung gehörigen Theile,
c) Die Kosten für die durch die Anlage bedingten Nebenarbeiten anderer Handwerker.

Den Angaben in den Spalten 8B und 8C sind nicht die Gesammtkosten, sondern nur die in Spalte 8A eingetragenen Kosten der Heizung zu Grunde zu legen. Bei 8C ist die Gesammtsumme der Wärme-Einheiten einschl. der Zuschläge (Spalte 9 in Anlage *D*) in Rechnung zu ziehen.

In Spalte 9 sind die Kosten der Lüftungsanlage einzutragen. Wenn eine genaue Berechnung schwierig ist, genügt eine überschlägliche Ermittlung.

In Spalte 10 sind die Gesammtkosten der Anlagen, also die Summe der Anlagekosten für Heizung (Spalte 8A) und für Lüftung (Spalte 9) einzutragen.

Ferner sind anzugeben
etwaige besondere Verhältnisse und örtliche Umstände, welche auf die Höhe der Anlagekosten von Einfluss gewesen sind.

Digitized by Google

Digitized by Google

Anlage K.

Nachweisung

über die Betriebsergebnisse der Centralheizungs- und Lüftungsanlage

in ..... zu .....

im Betriebsjahre 19...../19.....
(1. September bis 31. August.)

Art der Heizung .....

Aufgestellt

..... **den** ..... 19.....

(Name:) .....

(Amtscharakter:) .....

Geprüft ..... **den** ..... 19.....

Der Regierungs- und Bau-Rath

.....

Digitized by Google

Nach

über die Betriebsergebnisse der

im.....

während des

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	
Nummer	Bestimmung des Gebäudes und Ort	Zeit der Ausführung und Name des Unternehmers	Inhalt der zu erwärmenden Räume cbm	Verlangte Temperatur der zu erwärmenden Räume Grad C.	Anzahl der Heiztage	Kosten der Unterhaltung und Reinigung ℳ	Bezeichnung u. Menge im Ganzen kg

Bemerkungen betreffend die Ausfüllung der Tabelle.

Sind in einem Gebäude verschiedene Anlagen vorhanden, so ist für jede eine besondere Tabelle aufzustellen.

In Spalte 4 ist der Inhalt der auf verschiedene Temperatur zu erwärmenden Räume getrennt anzugeben.

In Spalte 7 sind sämmtliche Ausgaben aufzuführen, die nothwendig waren, um die Anlage in betriebsfähigem Zustande zu erhalten. Wenn eine völlige Erneuerung einzelner Theile (Kessel, Heizkörper, Rohrleitungen u. s. w.) nothwendig war, so ist dies in Spalte 10 unter Angabe der hierfür verausgabten Kosten besonders zu vermerken.

Digitized by Google

weisung

Centralheizungs- und Lüftungsanlage

.....zu.....

Betriebsjahres 19...../19.....

8.	9.		10.
des verbrauchten Brennstoffes	Kosten des Brennstoffes a	b	
für einen Betriebstag und 100 cbm beheizten Raumes	für 50 kg	im Ganzen	Bemerkungen
kg	ℳ	ℳ	
			Gesammtkosten: (Spalte 7 + 9b)
			Kosten für 1 Nutzeinheit: z. B. bei Krankenhäusern oder Gefängnissen unter Annahme normaler Belegung.

In Spalte 10 sind aufzuführen:

Die Gehälter und Löhne für Maschinisten, Heizer und sonstiges Hilfspersonal.

Ferner sind Angaben zu machen über die Temperatur der abziehenden Rauchgase, sowie über etwaige Mängel, die sich herausgestellt haben, unter Mittheilung der Massnahmen zu deren Abstellung.

Digitized by Google

II. Litteratur-Verzeichniss.

Ahrendts, Die Ventilation der bewohnten Räume. Leipzig 1885.

Baginsky, Schulhygiene. Stuttgart 1883.

Berger, Moderne und antike Heizungs- und Ventilationsmethoden. Berlin 1870.

Bitter, Ueber Methoden zur Bestimmung des Kohlensäuregehalts der Luft. Breslau 1890.

Buchner, Zimmeröfen und Zimmerkamine. Weimar 1868.

Bunte, Berichte der Heizversuchsstation München. München 1881.

Dankwarth, Zuglüftung. Dresden 1898.

Degen, Ventilation und Heizung. München 1878.

Denecke, Ueber die Bestimmung der Luftfeuchtigkeit zu hygienischen Zwecken. Arbeiten aus dem hygienischen Institute Göttingen. Leipzig 1886.

Deny, Die rationelle Heizung und Lüftung. Deutsch von Haesecke. Berlin 1886.

Einbeck, Theorie der Heisswasserheizung. Stuttgart 1887.

Emmerich, Die Wohnung (siehe von Pettenkofer). Leipzig 1894.

Erismann, Gesundheitslehre. München 1878.

Fanderlick, Elemente der Lüftung und Heizung. Wien 1887.

Ferrini, Technologie der Wärme. Deutsch von Schröter. Jena 1887.

Fischer, Ferd., Feuerungsanlagen. Karlsruhe 1889.

Fischer, Herm., Heizung und Lüftung der Räume. Handbuch der Architektur. Darmstadt 1891.

Fischer, Herm., Heizung, Lüftung und Beleuchtung der Theater und sonstiger Versammlungssäle. Handbuch der Architektur, Ergänzungsheft. Darmstadt 1894.

Flügge, Grundriss der Hygiene. Leipzig 1894.

Flügge, Hygienische Untersuchungsmethoden. Leipzig 1881.

von Fodor, Das gesunde Haus und die gesunde Wohnung. Braunschweig 1878.

Gosebruch, Ueber die Durchlässigkeit der Baumaterialien. Inaugural-Dissertation. Berlin 1897.

Gesundheits-Ingenieur. Zeitschrift. München.

Grashof, Theoretische Maschinenlehre. Leipzig 1875.

Grove, Ausgeführte Heizungs- und Lüftungsanlagen. (Heizungs- und Lüftungsanlage des Reichstagsgebäudes.) Berlin.

Haase, Die Feuerungsanlagen. Leipzig 1893.

Haase, Die Lüftungsanlagen. Stuttgart 1893.

Haase's Zeitschrift für Lüftung und Heizung. Berlin.

Haesecke, Die Schulheizung. Berlin 1893.

Haesecke, Ventilation in Verbindung mit Heizung. Berlin 1877.

Haier, Dampfkesselfeuerungen. Berlin 1899.

Digitized by Google

Hausbrand, Das Trocknen mit Luft und Dampf. Berlin 1898.
Hausbrand, Verdampfen, Kondensiren und Kühlen. Berlin 1899.
Hesgelin, Allg. Handbuch der Heizung. Stuttgart 1827.
Joly, Traité pratique du chauffage et de la Ventilation. Paris 1874.
Klinger, Kalender für Heizungs-, Lüftungs- und Badetechniker. Halle a. S.
Krell, Hydrostatische Messinstrumente. Berlin 1897.
Krell, Altrömische Heizungen. München und Berlin 1901.
Krieger, Der Werth der Ventilation. Strassburg 1899.
Lang, Ueber natürliche Ventilation und Porosität der Baumaterialien. Stuttgart 1877.
Lasius, Warmluftheizung. Zürich 1880.
Lorenz, Neuere Kühlmaschinen. München und Leipzig 1899.
Lunge, Zur Frage der Ventilation. Zürich 1879.
Meidinger, Feuerungsstudien. Karlsruhe 1878.
Meidinger, Die Heizung von Wohnräumen. München 1897.
Meidinger, Gasheizung im Vergleiche zu anderen Einzelheizsystemen. Braunschweig 1896.
Menzel, Feuerungsanlagen. Halle 1866.
Möder, Die Ventilation landwirthschaftlicher Gebäude. Weimar 1867.
Munde, Zimmerluft, Ventilation und Heizung. Leipzig 1877.
Paul, Heiz- und Lüftungstechnik. Wien, Pest, Leipzig 1885.
Péclet, Traité de la chaleur. Paris 1861. Deutsch von Hartmann. Leipzig 1866.
Perutz, Wärme- und Brennmaterialien. Berlin 1864.
von Pettenkofer und von Ziemssen, Handbuch der Hygiene. (Renk, Die Luft, Emmerich und Recknagel, Die Wohnung.) Leipzig 1886 und 1894.
Planat, Chauffage et ventilation de lieux habités. Paris 1880.
Pütsch, Gasfeuerungen. Berlin 1880.
Quaglio, Wassergas als Brennstoff der Zukunft. Wiesbaden 1880.
Ramdohr, Die Gasfeuerung. Halle a. S. 1875.
Rauer, Untersuchungen über die Giftigkeit der Exspirationsluft. Hygien. Inst. Breslau 1893.
Recknagel, G., Lüftung des Hauses (s. von Pettenkofer). Leipzig 1894.
Recknagel, H., Kalender für Gesundheitstechniker. München und Leipzig 1900.
Redtenbacher, Der Maschinenbau. Mannheim 1863.
von Reiche, Dampfkessel. Leipzig 1876.
Reid, Illustrations of Ventilation. London 1844.
Renk, Die Luft (s. von Pettenkofer). Leipzig 1886.
Reyer, Die ökonomische Pumpheizung. Berlin 1880.
Rietschel, Lüftung und Heizung von Schulen. Berlin 1886.
Rietschel, Theorie und Praxis der Bestimmung der Rohrweiten von Warmwasserheizungen. München und Leipzig 1897.
Robrade, Die Heizungs-Anlagen. Weimar 1897.
Rubner, Lehrbuch der Hygiene. Leipzig und Wien 1895.
Schinz, Die Wärmemesskunst. Stuttgart 1858.
Schinz, Heizung und Ventilation in Fabrikgebäuden. Stuttgart 1868.
Schmidt, Zuglüftung. Dresden 1898.
Schmidt, Heizung und Ventilation (s. Weyl, Handbuch der Hygiene). Jena 1896.
Schmölcke, Die Verbesserung unserer Wohnung. Wiesbaden 1881.
Scholz, Feuerungs- und Ventilations-Anlagen. Stuttgart 1881.
Schott, Ueber Zimmerheizung. Hannover 1854.
Schülke, Gesunde Wohnungen. Berlin 1880.

Digitized by Google

Schwartze, Heizung, Beleuchtung und Ventilation. Leipzig 1884.
Staebe, Das zweckmässigste Ventilationssystem. Berlin 1878.
Steinmann, Compendium der Gasfeuerung. Freiberg 1876.
Stetefeld, Die Eis- und Kälteerzeugungs-Maschinen. Stuttgart 1901.
Valerius, Les applications de la chaleur. Paris 1879.
Weiss, Feuerungs-Anlagen. Leipzig 1862.
Weyl, Handbuch der Hygiene. Jena 1896.
Wieprecht, Entwerfen und Berechnen von Heizungs- und Lüftungsanlagen. Halle a. S. 1901.
Wolffhügel, Zur Lehre vom Luftwechsel. München 1893.
Wolpert, A., Theorie und Praxis der Ventilation und Heizung. Braunschweig 1880.
Wolpert, A., Sieben Abhandlungen aus der Wohnungs-Hygiene. Leipzig 1887.
Wolpert, Hch., Luftprüfungs-Methode auf Kohlensäure. Leipzig 1892.
Wolpert, A. und Hch., Physikalisch-Chemische Propädeutik. Leipzig 1896.
Wolpert, A. und Hch., Die Luft und Hyrometrie. Berlin.
Wolpert, A. und Hch., Die Ventilation. Berlin.
Zeitschrift für Heizungs-, Lüftungs- und Wasserleitungstechnik, sowie für Beleuchtungswesen. Halle a. S.

Digitized by Google

Sachregister.

Abkürzungen:

Niederdruck-Dampfheizung: Niederdr.D.H. — Hochdruck-Dampfheizung: Hochdr.D.H. — Warm-Wasserheizung: WarmW.H. — Dampf-Warmwasserheizung: DampfW.W.H. — Dampf-Wasserheizung: DampfW.H. Heisswasserheizung: Heissw.H. — Luftheizung: Lufth. — Dampfluftheizung: Dampf-Lufth. — Wasserluftheizung: Wasser-Lufth.

	Seite
Abdampfheizung	382
Abgabe, Wärme	159
— Wasserdampf durch Gas	377
— Wasserdampf durch Menschen	6
Abgase, Ausnutzung für Lüftungszwecke	47
Abkühlung d. Luft in Kanälen	352, 371
— der Rauchgase	131
— der Schornsteine	193
Ableitung verbrauchter Luft	28, 60
Abluft-Anlage, Berechnung	80, 81
— Erwärmung	38, 41, 42, 43
— Regelung	62
— Temperatur	41, 46
Abluftkanäle, Anordnung	60, 61, 62
— Ausführung	63
— Führung	61
Abortlüftung	78
Absichtliche Lüftung	27
Abströmung der Luft	28, 60
Abtrittlüftung	78
Abwesenheit von Rauch	126
Akkumulatoren	283
Amerikanische Oefen	192
Anheizdauer	151
— bei Kirchen	153
Anheizen bei WarmW.H.	203, 207
— Zuschläge für	151
Annahme der Rohrweiten, Hochdr.D.H.	303, 309, 310
— Niederdr.D.H.	332, 338
— WarmW.H.	233
Anordnung, Abluftkanäle	60, 61, 62
— DampfW.W.H.	342
— DampfW.H.	349
— Heissw.H.	355
— Heizkörper	161
— Hochdr.D.H.	284
— Lüftungsanlagen	27
— Niederdr.D.H.	323
— Ventilatoren	53
— WarmW.H.	199
— Zuluftkanäle	57
Anstrich der Heizkörper	178
Anthracit	122, 124
Anzahl der Kessel	160
Asbest	184
Aschfall	123
Aspirationslüftung	28
Atmosphäre, Druck der	4
Aufspeicherung von Wärme bei WarmW.H.	203
Aufstellung der Heizkörper	177
Ausathmungsprodukte der Menschen	6
Ausdehnung der Luft	1
— der Rohrleitungen bei Dampf	293
— sgefäss bei WarmW.H.	202, 206, 254
Ausdunstungsprodukte der Menschen	6
Backkohle	122, 124
Bäder, Lüftung der	78
Bedingungen zur Ausführung einer Anlage	395
Befeuchtung der Luft	33, 36

Digitized by Google

Seite

Befeuchtungseinrichtungen . . 34
Beleuchtungs-Produkte 9
— Zone 16
Berliner Ofen 191
Bestrahlung, gegenseitige bei Heizkörpern 175
Betrieb der Heizungsanlagen . . 186
— skraft der Ventilatoren 55
Bewegung der Luft 7
— des Wassers bei WarmW.H. . . 199
— srichtung der Heizgase 161
— sursachen der Luft 22
Braunkohle 121, 124
Brennmaterial, staubförmiges . 128
— Verbrauch 160
Brennstoffe 121
Bunte Kacheln 192

Calcidum für Heissw.H. 257
Centrale Luftheizung 350
Centralheizung, Eintheilung . . . 186
Chamotte 161
Cirkulations-Luftheizung 351

Dachbodentemperatur 149
Dampf, Dichtigkeit 5
— Druck-Reduzirventile 295
— Eintritt in die Heizkörper . . . 285
— Geschwindigkeit 172
— Heizkörper, Einfriergefahr . . . 362
— Kessel 288
— Kessel für Hochdr.D.H. siehe Hochdr.D.H.
— Kessel für Niederdr.D H. siehe Niederdr.D.H.
— Luftheizung . . 188, 282, 352, 362
— Luftheizung, Heizapparat . . . 365
— Spannung bei Hochdr.D.H. . . 284
— Spannung bei Niederdr.D.H. 320, 323, 332, 333, 334
— Strahlapparate 50
— Vertheiler 292
Dampf-Warmwasserheizung, Anordnung 342
— Anwendungsgebiet 342
— Heizfläche 345
— Heizkessel 342
— Heizkörper 349
— Sicherheitsvorrichtungen gegen zu hohe Erwärmung 343
— -Wasserheizung mit Niederdr.D. 349
Dämpfer 36
Dauerbetrieb 160
— bei Heizungen 186

Seite

Dauerbetrieb bei WarmW.H. . . . 203
Dauerbrandöfen 192
Deckentemperatur 40, 150
Deflektoren 50
Dichtigkeit des Dampfes . . . 5
— der Luft 1
— der Rauchgase 121
Dichtung bei Dampfleitungen . . 293
— der Rohre bei HeisswH. . . . 256
Digestorien, Lüftung der 78
Doppel-Glasfenster 146
— Rohrregister 212
Dreiweghähne 256
Drosselung, generelle, bei WarmW.H. 213
Druck-Abfall in den Rohrleitungen bei Niederdr.D.H. 333
— Höhe eines Ventilators 88
— Höhe, wirksame, b. Lüftungsanlag. 66, 70
— der Luft 4
— Luftkammer 54
— Luftstrahlapparate 50
— Lüftung . . 28, 77, 78, 93, 94, 114
— Messung bei Ventilatoren . . . 54
— Regler, Dampf-H. 295
— Verlust durch Filter 32
— Verminderung bei Dampf-H. . . 295
Druckprobe, Dampfleitungen . . 296
— Heisswasserheizung 255
— Niederdr.D.H. 330
— Warmwasserheizung 216
Druckverhältnisse in einem geschlossenen Raume 22. 24
— in den zu lüftenden Räumen 76, 79, 81
— in den Rohrleitungen für Niederdr.D.H. 333
Durchlässigkeit der Brennmaterialien 25
— der Kanalwandungen 81
Durchpumphähne 256
— schlagen der Heizkörper bei Niederdr.D.H. 328, 337

Einflüsse auf Wärme-Abgabe der Heizkörper 171
— des Wetters 150
Einfriergefahr der Heissw.-H. . . 257
— der Dampfheizkörper bei Lufth. 362
— der Niederdr.-D.H. . . 321, 322, 329
— der WarmW.H. . . . 203, 213, 362
— der Wasserheizkörper bei Lufth. 362
Einstromheizfläche 166
Einströmung der Luft in die Räume 58
— stemperatur der Luft 58

Digitized by Google

Seite

Eintheilung der Lüftungsanlagen 28
— der Heizungsanlagen 186
Emaillirte Heizkörper 164, 376
Entlüftung bei Hochdr.D.H. . . 290
— bei Niederdr.D.H. 323
— bei WarmW.H. 201
Entnahme der Luft 29
Ersatz-Feuerungsanlage 160
— Leitungen für Dampf 292
Erwärmung der Luft 5
— von Wasser durch Dampf . . . 345
— von Wasser durch Niederdr.D.H. 335, 345
Erzeugung der Wärme 158
Erzielung des Luftwechsels 22
Etagenheizung 206
Exhaustoren, Wirkung 72
Expansionsröhren 256
Explosionsgefahr bei Dampf-Leitungen 293
— bei Gasheizung 283
— der Gasöfen 198
— bei Heissw.H. 255, 257, 258
— — WarmW.H. 203

Fensterheizkörper 163, 213
Fernheizung 281, 282, 287, 295, 305, 309, 342
— thermometer 213
Festpunkte bei Dampfleitungen . 294
— säle 77
Fettkohle 122
Feuchtigkeit, absolute 6
— relative 6
— sentziehung der Luft . 37, 378, 383
— sgehalt der Luft . . 1, 5, 6, 37, 377
Feuerluftheizung 188, 360, 364
Filter 31
Filz 185
Fittings 215
Fixpunkte bei Dampfleitungen . . 294
Flammenbildung 125
Flügelventilatoren 53
Füllen der Heissw.H. 256
— der WarmW.H. 206
Füllöfen 192
Fussbodenheizung 161
— kanäle 194

Gas 121
— Explosionsgefahr 198, 283
— Feuerung 125, 128
— Heizung 187, 196, 283
— Oefen 160, 197
— Wärme 198

Seite

Gefässe zur Wasserverdunstung . . 35
Gegenstrom-Heizfläche 166
Gelenkkompensatoren 294
Gemeinsame Befeuchtung der Luft 35
Generatoren 128
Generatorgas 121
Generelle Regelung der Wärme-Abgabe bei WarmW.H. 202
— Wärmeregelung bei Niederdr.D.H. 335
Geräusch des strömenden Dampfes bei Niederdr.D.H. 321, 333
Gerichtsräume 77
Gerippte Heizflächen 174
Geschwindigkeit der Luft, Annahme 83, 84
— der einströmenden Luft 58
— der Wärme aufnehmenden Luft 172
— erforderliche, der Luft . . . 63, 64
— erreichbare, der Luft 64
— shöhe der Luft 70, 88
Gesetzliche Vorschrift bei Niederdr.D.H. 324
Gestaltung der Heizkörper 174
Gewächshausheizung 194, 199, 203, 205, 228, 252
Gewicht der Luft 4
— der Rauchgase 121
Glasdecken 162
Glatte Heizflächen 161
Gliederheizkörper 211
Glühen der Heizflächen 161
— der Oefen 190
Grenzebene bei Lüftungsanlagen 86, 87
Grösse des Luftwechsels . 11, 14—17
— der Wassermenge bei WarmW.H. 213
Grösster zulässiger Luftwechsel . . 12
Güteverminderung der Luft . . . 6, 164

Heisswasserheizung . . . 187, 255
— Anwendungsgebiet 255
— Ausdehnungsgefässe 256
— Ausdehnungsröhren 256
— Berechnung 259
— Dichtung der Röhren 256
— Einfriergefahr 257
— Explosionsgefahr . . . 255, 257, 258
— Füllen 256
— Isolirmäntel 256
— Kupplung der Systeme 256
— Luftblasen 255
— Messung der Wassertemperatur . 256
— Prüfung unter Druck 255
— Rohrvertheilung auf graphischem Wege 278

Digitized by Google

	Seite
Heisswasserheizung, Schlangen	255
Heizapparat für Dampf-Lufth.	365
— für Feuerluftheizung	365
— für Luftheizung . 360, 361, 363,	364
— für Wasser-Lufth.	365
Heizeffekt, kalorimetrischer	122
— pyrometrischer	122
Heizflächen	164
— Berechnung 164, 180,	181
— zur Erwärmung des Wassers durch Dampf	345
— Glühen der	161
— für Wärme-Aufnahme	159
Heizkammer 63,	362
Heizkörper im Allgemeinen	161
— Anordnung der	161
— Anschlüsse bei WarmW.H.	235
— Anstrich	178
— Aufstellung	177
— für DampfW.H.	349
— Durchschlagen bei Niederdr.D.H. 328,	337
— emaillirte 164,	376
— Einfriergefahr 203, 213, 257, 321, 322, 329,	362
— Entlüftung bei Dampf	290
— Höhe	161
— für Hochdr.D.H. 289,	291
— für Niederdr.D.H. 327,	329
— für Niederdr.D.H., Dampfspannung	335
— für Niederdr.D.H., Luftumlauf 321,	329
— Reinigung	164
— aus Rohrleitung bei WarmW.H.	228
— Transmissionskoefficienten	167
— Ummantelung	178
— Verkleidung 162,	163
— Versuche 168,	169
— Wärme-Abgabe	167
— Wärmeregelung bei Dampf	290
— der WarmW.H. 211,	214
— zur Wassererwärmung bei Dampf W.W.H.	345
Heizungsanlagen im Allgemeinen	158
— Betrieb	186
— Eintheilung	186
— Vergebung	388
Heizwerth der Brennstoffe	122
Höhe der Heizkörper	161
Hochfenster	162
Holz 121,	124
Hochdruck-Dampf-Heizung 187,	281
— Anordnung	284
— Anwendungsgebiet	281
— Dampfeintritt in die Heizkörper	285
Hochdruck-Dampf-Heizung, Dampfspannung	284
— Dichtung der Rohrleitungen	293
— Druckprobe	296
— Festpunkte	294
— Füllen der Anlage mit Wasser im Sommer	298
— Heizkörper 172,	289
— Kanäle für Rohrleitungen	293
— Kessel	286
— Kondenswasserableiter	296
— Kondenswasserleitung, Berechnung	318
— Kondenswasser-Rückführung	297
— Lagerung der Rohrleitungen	293
— Niederschlagswasserableiter	296
— Niederschlagswasserleitung, Berechnung	318
— Regelung der Wärme-Abgabe der Heizkörper	290
— Rohrgefälle	285
— Rohrleitung 292, 293, 295, 298,	303
— Sicherheit gegen Betriebsstörung	292
— Spannungsabfall	306
— Speisewasser	286
— Verdampfungsfähigkeit . . 287,	288
— Wärmeregelung durch Isolirmäntel	291
— Wärmeschutzmittel 286,	292
— Wärme-Ueberführung	287
— Wärmeverluste 282,	292
Hygienische Anforderung an Heizkörper 164,	189
— Forderung an einen Ofen	189
Isolirmäntel 256,	291
Kachelöfen	194
Kalorifer	361
Kalorimetrischer Heizeffekt	122
Kaminheizung 187,	188
Kanäle, Berechnung	63
— Berechnung bei Lüftungsanlagen	85
— für Dampfleitungen	293
Kanal-Anlage, Bestimmung der	80
— Anlage einer Luftheizung	352
— Heizung 187,	194
— Querschnitt bei Luftheizungen	354
— Wandungen, Undichtheit der	81
Kanonenofen	190
Kessel, Anzahl	160
— bei DampfW.W.H.	343

Digitized by Google

Seite

Kessel bei Hochdr.D.H. 286
— bei Niederdr.D.H. 326
— WarmW.H. . . 204, 207, 208, 210
Kieselguhr 184
Kirchen 162
— Heizung 152, 153, 351
— Lufteinströmung bei 78
Kohlensäuregehalt in Krankenräumen 14
— gehalt der Luft 1
— gehalt in Schulen 14
— produktion der Menschen . . . 7
— produktion der Beleuchtung . . 7
Kohlenstaubfeuerung 128
Koks 121, 124
Kompensatoren 216, 294
Kondenswasserableiter 296
— leitung, Berechnung 318
— leitung für Hochdr.D.H. 296
— Rückführung bei Niederdr.D.H. 322
Konsoleisen 215
Kork 184
Kostenanschlag 395
— einer Lüftungsanlage 95
Krankenhäuser 203, 292
— räume 14
Küchenlüftung 47, 78
Kühlflächen 375, 383
— körper 375
— mittel 373
Kühlung 372
— Berechnung 376
— der Luft 5
— der Luft durch Flüssigkeiten . 374
— sanlagen 376
Kunsttuffstein 185
Künstliche Lüftung 27
Kupferkompensatoren 294
Kupplung bei Heissw.H. 256
— der Heizkessel 207

Lagerung der Rohrleitungen bei Dampf 293
Leitungskoefficient 143
Leuchtgas 121, 198
Lichtwerke 283
Linsenkompensatoren 294
Lockfeuer 194
— feuerungen 38
Lokalheizung 186, 188
—e Luftheizung 350
Luft-Ableitung 28, 60
— Ausdehnung 1
— Befeuchtung 33

Seite

Luft-Befeuchtungs-Einrichtungen 34, 35
— Bewegung 7
— Bewegung im Raume . . . 59, 161
— Bewegungsmittel 37
— Bewegung, rückläufige in Abluftkanälen 62
— Dichtigkeit 1
— Druck 4
— Durchlässigkeit d. Baumaterialien 25
— Einführung bei Kirchen . . . 78
— Einführung in den Schornstein 126, 189
— Einströmung in die Räume . . 58
— Einströmungsgeschwindigkeit . 58
— Entnahme 29
— Entnahme von Nachbarräumen . 78
— Erwärmung, Wärmemenge zur . 5
— Feuchtigkeit 6, 7, 37, 373
— Gewicht 4
— Güteverminderung 6
— Kohlensäuregehalt 1, 13
— Kühlung 5
— Leitungskoefficient 143
— Leitung bei WarmW.H. . . . 202
— Menge für den Heizapparat bei Lufth. 355, 359
— Menge für die Kanalberechnung bei Lufth. 355, 359
— Menge zur Verbrennung . . . 121
— Mischung 5, 57
— Reinigung 29
— Sättigung 6
— Spezifische Wärme der 5
— Temperatur bei Einströmung . 58
— Trockenheit 30
— Trocknung 7, 373, 378, 383
— Umlauf in den Heizkörpern bei Niederdr.D.H. 321, 329
— Waschen 33
— Wassergehalt 1, 5, 6
— Widerstände 73, 132
— Zusammensetzung 1
Luftheizung, Abkühlung der Luft in Kanälen 352, 371
— Anordnung 350
— Anwendungsgebiet 350
— Ausführung, fehlerhafte 352
— Grösse des Heizapparates . 363, 364
— Heizapparat 360
— Kanalquerschnitte 354
— Konstruktion des Heizapparates 360, 361
— Luftmenge für den Heizapparat 355, 359
— menge für d. Kanalberechnung 355, 359
— Luftwechsel, erforderlicher . . 354

Digitized by Google

Seite

Luftheizung, Luftwechsel, vorgeschriebener 354, 358
— für Schulen 351
— Temperaturen für die Kanalberechnung 357, 360
— Temperatur der Zuluft 358
— Trockenheit der Luft 352
— Umlauf der Luft 351
— Wasserverdunstung 363
— Wirtschaftlichkeit 351
Lüftung durch Abgase 47, 48
— absichtliche 27
— mit Erwärmung der Abluft 91, 92, 93
— ohne Erwärmung der Abluft 89, 90
— einer Küche 47
— künstliche 27
— natürliche 25
— sanlagen-Vergebung 388
— ssystem, Wahl desselben . . 75, 76
Luftwechsel, erforderlicher . . . 11
— erforderlicher bei Lufth. . . . 354
— Erzielung 22
— Grösse desselben . . . . 11, 14—17
— grösster zulässiger 13
— bei Lufth. 16
— Nothwendigkeit des 6
— in der Praxis 13
— nach Rauminhalt 14
— vorgeschriebener bei Lufth. . . 358
— Zusammenstellung 17

Magerkohle 124
Mantelöfen 191, 193
Mauerhülsen 215
Messen d. Temperatur b. WarmW.H. 206
Messung der Wassertemperatur bei Heissw.H. 256
Metallschläuche als Kompensatoren 294
Mischkammer 57
Mischung von Luft 5, 57
Mittel zur Bewegung der Luft . . 37
Mitteldruck-WarmW.H. . 187, 203, 255
Mitreissen von Kesselwasser . . . 287
Möller-Filter 32
Mündung der Zuluftkanäle 58
Muffenröhren 214
Museen 203

Nachrechnung der angenommenen Rohrweiten bei WarmW.H. . . 236
Nachtbetrieb bei Niederdr.D.H. . . 326
Nachtheile der Ofenheizung . . 190
— der Warmwasser-Mitteldr.H. . . 203
Natürliche Lüftung 25

Seite

Neutrale Zone 23, 77, 78, 80, 81, 86, 89, 91, 93, 98, 110, 112.
Niederdruck-Dampfheizung 187, 320, 323
— Anwendungsgebiet 320
— Dampfkessel 324, 326
— Dampfspannung . 320, 323, 332, 334
— Druckabfall in den Rohrleitungen 333
— Druckprobe 330
— Druckverhältnisse in den Rohrleitungen 333
— Durchschlagen der Heizkörper 328, 337
— Einfriergefahr . . . 321, 322, 329
— Entlüftung 323
— Erwärmung von Wasser . . . 335
— Generelle Regelung der Wärme-Abgabe 321, 335
— Geräusch d. strömenden Dampfes 321, 333
— Gesetzliche Vorschriften . . . 324
— Grösse der Heizfläche der Kessel 326
— Heizkörper 327, 329
— Mischen von Luft und Dampf 329
— Nachtbetrieb 326
— Rohrleitung 330, 332
— Rosten der Niederschlagswasserleitungen 322
— Rückführung d. Kondenswassers in den Kessel 322
— Rückstauvorrichtungen 329
— sauerstoffarme 322, 327
— Schwimmerglocke 327
— Spannungsabfall in den Rohrleitungen 333
— Umlauf von Luft in den Heizkörpern 321
— Ventile 328
— Verbrennungsregler 324
— Wärmeregelung 320, 327
— Wärmeverluste d. Rohrleitungen 331
— Wasserschleifen 324
Niederdruck-Warm-Wasser-Heizung 187, 203
Niederschlagswasser-Ableiter 296
— Leitung, Berechnung 318
— Leitung bei Hochdr.D.H. . . . 296
— Leitung, Rostgefahr 322
— Rückführung bei Niederdr.D.H. 322
Nothwendiger Ueberdruck in Räumen 78
Nothwendigkeit des Luftwechsels 6
Nutzbare Wärme des Gases . . . 198
Nutzbarmachung des Winddrucks 50

Digitized by Google

Seite

Ofen-Heizung 187, 189, 193
— -Klappen 125, 189
Oefen für Dauerbetrieb 192
— hygienische Anforderungen . . 189
Oertliche Befeuchtung der Luft . 34

Parallel liegende Heizflächen . . 175
— Strom-Heizfläche 166
Patentröhren 215
Perkinsheizung 187
Plattenheizkörper 177, 212
Porosität der Baumaterialien . . . 25
Pressköpfe 50
Probeheizung 215, 405
Produkte der Ausathmung 7
Programm für eine Anlage 389
Prüfung von Entwürfen 399
— von Heizungsanlagen 404
— von Lüftungsanlagen 402
— der Oefen 194
Pulsionslüftung 28
— Luftheizung 352
Pyrometrischer Heizeffekt 122

Radiatoren . . 176, 178, 179, 181, 211
Rauch-Bildung 126
— freie Verbrennung 126
— Schieber 125
Rauchgase Temperatur bei Warm-W.H. 207
— Abkühlung der 131
— Dichtigkeit der 121
— Gewicht der 121
— specifische Wärme 122
— Temperatur bei WarmW.H. . . 207
— Volumen der 121
Rauminhalt und Luftwechsel . . . 14
Reck-Heizung 343, 347
Regelung der Heizkörper bei Niederdr.D.H. 327
— der Verbrennung 125
— der Wärme-Abgabe von Warmw.-Heizkörpern 213
— des Zuges bei WarmW.H. . . 206
— svorrichtungen, einmalige, bei Lüftungsanlagen 57
Reguliröfen 191
Reibung des Dampfes in den Rohrleitungen 299
— der Luft in Kanälen 73
— des Wassers in Rohrleitungen 219
— skoefficient der Luft 73
Reinigung der Filter 32
— der Heizkörper 63, 164

Seite

Reinigung der Luft 29
— der Oefen 189
— der Zuluftkanäle 63
Remanit 185
Reserveleitung für Dampf 292
Restaurants 77
Riechstoffe 30
Rippenheizkörper 173, 174
— register 211
Rohr-Brüche bei Dampfheizung 292, 295
— Gefälle bei Dampf 285
— Heizkörper 172, 173
— Lagerung 215
— Register 212
— Spiralen z. Erwärmuug d. Wassers 345
— Spiralen für Luftheizung . . . 181
— Spiralen bei Niederdr.D.H. . . 335
— Vertheilung bei Heissw.H. auf graphischem Wege 278
— Weiten d. Fallstränge bei Warm-W.H. 236
Rohrleitung als Heizkörper . . 161
— als Heizkörper bei WarmW.H. 228
— für Hochdr.D.H. 292, 298
— für Niederdr.D.H. 330, 332
— für WarmW.H. 214
Rohseide 185
Rollenlagerung für Rohrleitungen . 293
Rost 123, 126, 127
— an den Niederschlagswasserleitungen bei Niederdr.D.H. . . . 322
— Fläche, freie 124
— Fläche, Grösse 124
— Stäbe 123
Rückführung des Kondenswassers bei Hochdr.D.H. 297
— läufige Luftbewegung 62
— stauvorrichtungen bei Niederdr. D.H. 329
Russischer Ofen 191

Säle 162
Salzlösung bei Heissw.H. 257
Sammlung der Abluft 85
Sauerstoffarme Niederdr.D.H. 322, 327
Sauge-Lüftung 28, 62, 78, 93, 94, 110, 112
— Kappen 50
Sättigung der Luft 6
Säulen-Oefen 212
Schlingenlagerung 216, 293
Schnellschlussventile 295
Schornstein 128
— Abkühlung 193
— Berechnung 128, 129

Digitized by Google

	Seite
Schornstein, eiserne	131
— Lufteinführung	125, 126
Schräge Rippen	175
Schraubenventilatoren	51, 52
Schulen	203
Schul-Heizung	196, 351
— Räume	77
Schütt-Feuerung	160
— öfen	192
Schutz vor Wärme-Abgabe	183
Schwammbildung bei Heizkammern	63
Schwedische Oefen	191
Schwimmerglocke bei Niederdr.D.H.	327
Sicherheitsvorrichtungen bei WarmW. Mitteldr.H.	207, 343
— -Zuschläge	150
Siederöhren	215
Signalrohr bei WarmW.H.	206, 254
Sinterkohle	122
Sitzungssäle	352
Sommer-Feuerung	44, 45, 49
— Lüftung	61
Spannung des Dampfes bei Hochdr. D.H.	284
— des Dampfes bei Niederdr.D.H.	323
Spannungsabfall	284
— bei Dampfleitungen	284, 296, 306
— in den Rohrleitungen b. Niederdr. D.H.	333
Spannungsregler	324
Speisen der Heizkessel	206
— der Kessel bei WarmW.H.	206
Speisewasser bei Hochdr.D.H.	286
Specifische Wärme der Luft	5
— Wärme des Leuchtgases	198
— Wärme der Rauchgase	122
—s Gewicht der Kohlensäure	8
Spiritusfüllung bei Heissw.H.	256
Standröhren	211, 214, 230
Staub-Geruch bei Heizkörpern	30
— Fänger	30
— Kammern	30
Stauen des Kondenswassers bei Niederdr.D.H.	329
Steinkohle	121
Stopfbuchsenkompensatoren	294
Strahl-Apparate	50
Strahlungskoefficient	143
Strohseil	184
Stromkreise der Luftbewegung	162
Sturtevant-Heizung 173, 181,	353, 371
Submission	388
System Liebau	205
— Reck	343, 347

	Seite
Temperatur der Abluft	41
— der Aussenluft	39, 76, 148
— der Heizgase	160, 197, 208
— für die Kanalberechnung einer Lufth.	357, 360
— Messung bei WarmW.H.	206
— der Rauchgase bei WarmW.H.	195, 207
— nicht erwärmter Räume	149
— unter der Decke eines Raumes	40, 150
— der Raumluft	40, 373
— der Verbrennungsprodukte bei Gas	197
— der Zuluft	41, 358, 373
Tenbrinckfeuerung	127
Theater	77, 203
— Heizung	352
Theilung der Feuerheizfläche	160
Torf	121, 124
Transmissionskoefficienten	139, 140, 167
— für Heizkörper	167
— für Wände	140
Trockenheit der Luft	30, 352
Trocknung des Dampfes	287
— der Luft	7, 373, 378, 383
Ueberdruck in einem Raume	24, 78
— hitzter Dampf	172, 284, 287
— leitungskoefficient der Wärme	138
Umfangsgeschwindigkeit der Ventilatoren	52, 53
Umluftheizung	351
Ummantelung der Heizkörper	178
Undichtheit der Wandungen	81
Unterdruck in Räumen	78
Ventilations-Oefen	193
Ventilatoren	50, 72
Ventile für Niederdr.D.H.	328
Verbandsrohre	215
Verbrennen von Staub	30
Verbrennung	123, 126
— sluft	121
— sprodukte bei Gas	197
— sraum	125
— sregelung	125
— sregler bei Niederdr.D.H.	324
— sregler bei WarmW.H.	206
— stemperatur	195
Verdampfungsfähigkeit	287
Verdunstungs-Einrichtungen	35
— Gefässe	35
Vergebung von Heizungsanlagen	388
— von Lüftungsanlagen	388

Digitized by Google

Seite
Verhütung der Rauchbildung . . . 126
Verkleidung der Heizkörper 162, 163, 256
Verminderung der Wärme-Abgabe durch Schutzmittel 183
Verrosten der Dampfleitungen . 297
— der Kondensleitungen 297
Versammlungsräume 77, 203
Versuche mit Heizkörpern 168
Verwaltungsräume 77
Vollkommene Verbrennung 123
Volumen der Rauchgase 121
Vortheile der Ofenheizung 190
Vorzüge der WarmW.H. 203

Wahl des Lüftungssystems 75
Wandstärke der Heizkörper . . . 174
Wärme-Absorption 137, 150
— Ausströmungskoefficient . . 138, 142
— Bedarf eines Raumes 136
— Beseitigung durch Lüftung . . 59
— Einheit 5
— Einströmungskoefficient . . 138, 142
— Emission 136, 137
— Entwickelung der Beleuchtung . 10
— Entziehung der Füsse 162
— Erzeugung durch Gas 198
— Leitung 142
— Recipienten 159
— Strahlung 136, 142
— Transmission 136, 137, 153
— Ueberführung 136, 287
Wärme-Abgabe von Dampf an Wasser 345
— der Heizkörper . . . . . 167—179
— der Menschen 9
— der Öfen 194
— der Rohrleitungen bei Dampf-H. 282, 300, 303, 308, 311, 331
— Verminderung durch Schutzmittel 183
Wärme-Aufspeicherung . . . 191
— bei DampfWarmW.H. 349
— bei WarmW.H. 203
Wärmemenge, theoretische der Brennstoffe 121
— nutzbare, der Brennstoffe . . . 123
— des Heizapparates bei Lufth. . 363
Wärmeregelung der Hochdr.D.-Heizkörper 290
— bei Niederdr.D.H. 320
— generelle, bei Niederdr.D.H. 321, 335
— bei WarmW.H. 202, 213
Wärmeschutzmittel 183, 286, 293
— bei Hochdr.D.H. 292
— bei WarmW.H. 216

Seite
Wärmeverluste bei Dampfleitungen 292
— Fernheizungen 282
— bei Niederdr.D.H. 331
Warmwasserheizung . . . 187, 199
— Anheizdauer 203
— Annahme der Rohrweiten . . . 233
— Anordnung 199
— Anwendungsgebiet 199
— Ausdehnungsgefäss 206, 254
— Bewegungswiderstände 219
— Dauerbetrieb 203
— Druckprobe 216
— Einfriergefahr . . . 203, 213, 362
— Entlüftung 201
— Fensterheizkörper 213
— Fernthermometer 213
— Heizkessel 204
— Heizkörper 211, 214
— Heizkörper-Anschlüsse 235
— Heizkörper und Rohrleitung . . 228
— Nachrechnung der angenommenen Rohrweiten 236
— Rohrleitung 214, 216
— Rohrweiten der Fallstränge . . 236
— lokale Regelung der Wärme . 213
— Regelung der Heizkörper . . . 212
— Signalrohr 206, 254
— Verbrennungsregler 206
— Wärmeaufspeicherung 203
— generelle Wärmeregelung . . . 213
— Wärmeschutz 216
— Windkessel 254
Warmwasserkessel 207
Waschen der Luft 33
Wasser-Erwärmung durch Niederdr.D.H. 335
— Erwärmung bei DampfW.W.H. 345
— dampf-Abgabe der Menschen . . 6
— Gehalt der Luft 1, 5, 6, 37
— Geschwindigkeit 171
— Heizung 187
— Luftheizung . . 188, 352, 362, 365
— Menge bei WarmW.H. 213
— Schleifen bei Niederdr.D.H. . . 324
— Staubregen 33
— Strahlapparate 50
— Säule, Druck 4
— standsanzeiger bei WarmW.H. . 206
— Verdunstung bei Lufth. 363
Wellblechdecken 162
— rohre als Kompensatoren . . . 294
Werkstätten 162
Wettbewerb 389

Digitized by Google

	Seite
Widerstand der Luft bei Durchgang durch Brennmaterial	132
— shöhe der Luft	70, 88
Widerstände gegen Luftbewegung	66, 73
— einmalige, in Rohrleitungen für Hochdr.D.H.	301, 302
— gegen die Wasserbewegung bei WarmW.H.	219
Wind-Anfall	150, 351
— druck, Nutzbarmachung	50
— kessel bei WarmW.H.	254
Wirkungsgrad der Ventilatoren	55
Wohn-Gebäude	203
— räume	77
Zerstäubungsapparate	35
Zierheizkörper	211
Zimmeröfen	126
Zugerscheinungen in erwärmten Räumen	162, 163
— erscheinungen b. Lüftungsanlagen	13, 27, 58
— Regelung bei WarmW.H.	206
Zuleitung reiner Luft	27
Zuluft-Kanäle, Anordnung	56, 57
— Mündung	58
— Reinigung	63
Zuluft-Temperatur	41
Zündflamme	198
Zusammensetzung der Luft	1
Zuschläge für Anheizen	151
Zwangslauf der Luftströme in erwärmten Räumen	163
— des Wassers	211
Zweiweghähne	256

Digitized by Google

Verlag von Julius Springer in Berlin N.

Herstellung und Instandhaltung elektrischer Licht- und Kraftanlagen.

Ein Leitfaden auch für Nicht-Techniker.

Unter Mitwirkung von

O. Görling und **Dr. Michalke**

verfasst und herausgegeben

von

S. Frhr. v. Gaisberg.

In Leinwand gebunden Preis M. 2,—.

Die Markthallen Berlins.

Ihre baulichen Anlagen und Betriebseinrichtungen.

Im Auftrage des Magistrats dargestellt

von

A. Lindemann,

Kgl. Baurath, Stadtbauinspektor.

Mit 33 Tafeln und 9 in den Text gedruckten Figuren.

Gross Folio. Kartonirt Preis M. 24,—.

Eiserne Dächer und Hallen in England.

von

Ludwig Mertens.

Mit 20 Tafeln.

Kartonirt Preis M. 12,—.

Hafenanlagen zu Breslau.

Denkschrift zur Eröffnung des städtischen Hafens am 3. September 1901.

Herausgegeben vom

Magistrat der kgl. Haupt- und Residenzstadt Breslau.

Mit 44 Tafeln und zahlreichen Textfiguren.

Elegant gebunden Preis M. 20,—.

Elasticität und Festigkeit.

Die für die Technik wichtigsten Sätze und deren erfahrungsmässige Grundlage.

Von **C. Bach,**

K. Württ. Baudirektor, Professor des Maschinen-Ingenieurwesens an der K. Technischen Hochschule Stuttgart.

Mit in den Text gedruckten Abbildungen und 18 Tafeln in Lichtdruck.

Vierte, vermehrte Auflage.

In Leinwand gebunden Preis M. 18,—.

Die Gebläse.

Bau und Berechnung der Maschinen zur Bewegung, Verdichtung und Verdünnung der Luft.

Von **A. von Jhering,**

Regierungsbaumeister, Docent an der Königl. Technischen Hochschule zu Aachen.

Z. Zt. vergriffen; neue Auflage in Vorbereitung.

Technische Mechanik.

Ein Lehrbuch der Statik und Dynamik für Maschinen- und Bauingenieure.

Von **Ed. Autenrieth,**

Oberbaurath und Professor an der Königl. Techn. Hochschule zu Stuttgart.

Mit 327 in den Text gedruckten Figuren.

Preis M. 12,—; in Leinwand gebunden M. 13,20.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung.

Digitized by Google

Verlag von Julius Springer in Berlin N.

Die Hebezeuge.

Theorie und Kritik ausgeführter Konstruktionen mit besonderer Berücksichtigung der elektrischen Anlagen.
Ein Handbuch für Ingenieure, Techniker und Studirende.

Von **Ad. Ernst,**
Professor des Maschinen-Ingenieurwesens an der Königlichen Technischen Hochschule zu Stuttgart.

Dritte, neubearbeitete Auflage.

Drei Bände. Mit über 1000 Textfiguren und 85 lithographirten Tafeln.

In 3 Leinwandbände gebunden Preis M. 60,—.

Das Wasser,

seine Verwendung, Reinigung und Beurtheilung mit besonderer Berücksichtigung der gewerblichen Abwässer.

Von
Dr. Ferd. Fischer.

Dritte, umgearbeitete Auflage.

Mit in den Text gedruckten Abbildungen.

In Leinwand geb. Preis M. 12,—.

Die Untersuchung des Wassers.

Ein Leitfaden zum Gebrauch im Laboratorium für Aerzte, Apotheker und Studirende.

Von **Dr. W. Ohlmüller,**
Regierungsrath u. Mitgl. des kaiserl. Gesundheitamtes.

Zweite, durchgesehene Auflage.

Mit 75 Textabbildungen und einer Lichtdrucktafel.

In Leinwand geb. Preis M. 5.—.

Die Verunreinigung der Gewässer

deren schädliche Folgen sowie die Reinigung von Trink- und Schmutzwasser.

Mit dem Ehrenpreis Sr. Majestät des Königs Albert von Sachsen gekrönte Arbeit

von **Dr. J. König,**
Geh. Regierungsrath, o. Professor an der Königlichen Akademie und Vorsteher der agrikulturchemischen Versuchsstation in Münster i. W.

Zweite, vollständig umgearbeitete und vermehrte Auflage.

Zwei Bände. Mit 156 Textfiguren und 7 lithogr. Tafeln.

Preis M. 26,—; in zwei Leinwandbände geb. M, 28,40.

Hygienisches Taschenbuch

für

Medicinal- und Verwaltungsbeamte, Aerzte, Techniker und Schulmänner.

Von **Dr. Erwin von Esmarch,**
Professor der Hygiene an der Universität zu Königsberg.

In Leinwand geb. Preis M. 4,—.

Verdampfen, Kondensiren und Kühlen.

Erklärungen, Formeln und Tabellen

für den praktischen Gebrauch.

Von **E. Hausbrand,**
Oberingenieur der Firma C. Heckmann in Berlin.

Mit 21 Figuren im Text und 76 Tabellen.

Zweite, durchgesehene Auflage.

In Leinwand geb. Preis M. 9,—.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung.

Digitized by Google

33 - I/II

Digitized by Google

UNIVERSITY OF CALIFORNIA LIBRARY
BERKELEY

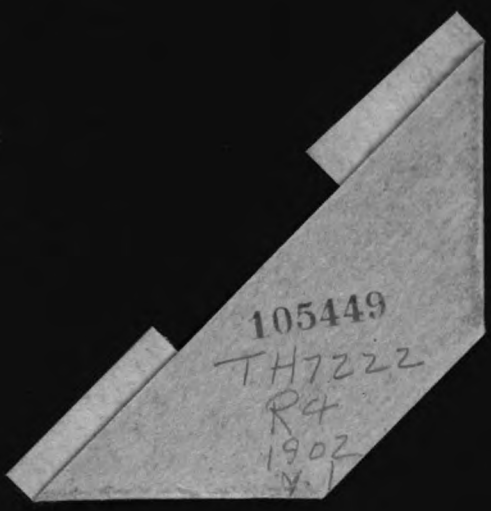
Return to desk from which borrowed.
This book is DUE on the last date stamped below.

21Jan51PA

LD 21–100*m*–11,'49(B7146s16)476

Digitized by Google

YD 02725


105449
TH7222
R4
1902
v.1

Digitized by Google

Digitized by Google